



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra betonových a zděných konstrukcí

Konstrukce velkého vyložení a způsob jejich výstavby

Long Cantilever Structures and their Construction

Diplomová práce

Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb
Vedoucí práce: Ing. Michaela Frantová, Ph.D.

Michal Piksa

Praha 2019



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Piksa Jméno: Michal Osobní číslo: 410167

Zadávací katedra: Katedra betonových a zděných konstrukcí

Studijní program: Konstrukce pozemních staveb

Studijní obor: Stavební inženýrství

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Konstrukce velkého vyložení a způsob jejich výstavby

Název diplomové práce anglicky: Long Cantilever Structures and their Construction

Pokyny pro vypracování:

Statický rozbor nosného systému realizovaných konstrukcí s velkým vyložení

Technologie výstavby

Optimalizace nosného systému vybrané konstrukce

Seznam doporučené literatury:

FOGLAR, M., M. FRANTOVÁ, JIŘÍČEK P.. Betonové konstrukce 3: navrhování betonových konstrukcí na MSP, úvod do předpjatého betonu. V Praze: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04943-3.

PROCHÁZKA, J., ŠMEJKAL, J.. Betonové vícepodlažní a halové konstrukce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Česká technika-nakladatelství ČVUT, 2018. ISBN 978-80-01-06518-1.

LADRA, J.. Technologie staveb 11: realizace železobetonové monolitické konstrukce budov. Praha: ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02487-3.

JIŘÍČKOVÁ, M., PAVLÍK Z., HOŠEK J.. Materiálové inženýrství I. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2009. ISBN 978-80-01-04263-2.

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Michaela Frantová, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 20.2.2019

Termín odevzdání diplomové práce: 19.5.2019

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

20.2.2019

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Konstrukce velkého vyložení a způsob jejich výstavby“ zpracoval samostatně pod vedením vedoucí Ing. Michaely Frantové, Ph.D. a že jsem uvedl všechny informační zdroje v seznamu použité literatury.

V Praze 19. 5. 2019

Michal Piksa

PODĚKOVÁNÍ

Velké díky patří vedoucí práce Ing. Michaele Frantové, Ph.D. za její odborné vedení, rady a podporu při psaní této práce. Také děkuji prof. Ing. Petru Štemberkovi, Ph.D., D.Eng. a studentům doktorského studia za jejich věcné rady.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat svým rodičům, kteří mě vždy podporovali ve studiu na Fakultě stavební.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá konstrukcemi velkého vyložení a jejich statickým rozbořem. Příklady realizovaných staveb s vyloženou částí konstrukce byly analyzovány s ohledem na jejich nosný systém. Dále se práce zabývá technologií a realizací podpůrných konstrukcí, bednicích konstrukcí a ošetřováním čerstvého betonu.

Ve výstavbě nejen konstrukcí velkého vyložení z betonu je kladen důraz na urychlení výstavby, a proto se práce dotkla i tohoto tématu. Diplomová práce obsahuje i kapitolu pojednávající o materiálu betonu jako takovém a o vývoji jeho vlastností vlivem stárnutí.

Těžištěm diplomové práce byl vlastní návrh železobetonové konstrukce velkého vyložení, který vycházel z reálné stavby. Byl vytvořen nejen návrh tvaru konstrukce, ale i podrobný postup výstavby, návrh technologie bednění a podepření konstrukce během výstavby.

KLÍČOVÁ SLOVA

Velké vyložení, železobeton, monolit, bednění, tunelové bednění, komorový nosník, podpůrné konstrukce, ošetřování betonu, dotvarování betonu, technologie výstavby

ABSTRACT

This diploma work deals with the long cantilever structures and their static analysis. Various examples of realized structures with cantilever were analyzed with respect to their support system. Furthermore, the thesis deals with the technology and implementation of supporting structures, formwork structures and treatment of fresh concrete.

The great emphasis during construction of a long cantilever structures is put on acceleration of the construction so this subject is also touched in this work. The thesis also includes a chapter that deals with the concrete material and the development of its properties due to aging.

The main focus of the thesis was to design a reinforced concrete structure of a long cantilever, which is based on a real construction. A design was created together with detailed description of the construction work and also proposals for formwork technologies and supports for the structure during construction were made.

KEY WORDS

Long Cantilever, reinforced concrete, monolith construction, formwork, tunnel formwork, box girder, supporting structures, concrete treatment, creep of concrete, construction technology

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| 1. ÚVOD | 1 |
| 2. CÍL PRÁCE | 3 |
| 3. REALIZOVANÉ KONSTRUKCE VELKÉHO VYLOŽENÍ | 4 |
| 3.1 <i>Příklady staveb na území ČR.....</i> | <i>4</i> |
| 3.2 <i>Příklady staveb ve světě.....</i> | <i>8</i> |
| 4. TECHNOLOGIE VÝSTAVBY IN SITU | 11 |
| 4.1 <i>Podpěrné konstrukce</i> | <i>12</i> |
| 4.2 <i>Bednicí konstrukce</i> | <i>15</i> |
| 4.3 <i>Pracovní spáry</i> | <i>21</i> |
| 4.4 <i>Okamžik odbednění a odstranění podpůrné konstrukce</i> | <i>22</i> |
| 4.3 <i>Ošetřování betonu</i> | <i>23</i> |
| 5. VLASTNOSTI BETONU S VLIVEM ČASU | 24 |
| 5.1 <i>Modul pružnosti betonu</i> | <i>24</i> |
| 5.2 <i>Dotvarování betonu</i> | <i>25</i> |
| 5.3 <i>Urychlování tvrdnutí betonu</i> | <i>28</i> |
| 6. ZPŮSOB VÝSTAVBY A STATICKÉHO ŘEŠENÍ VYBRANÉ VYLOŽENÉ KONSTRUKCE | 30 |
| 6.1 <i>Návrh tvaru vyložené konstrukce</i> | <i>30</i> |
| 6.2 <i>Postup výstavby vyložené konstrukce.....</i> | <i>33</i> |
| 6.3 <i>Výpočetní model</i> | <i>48</i> |
| ZÁVĚR | 51 |
| SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 52 |
| SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ | 55 |
| SEZNAM POUŽITÉHO SOFTWARE | 57 |
| SEZNAM GRAFŮ | 57 |
| SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK | 57 |
| PŘÍLOHY | 58 |

1. ÚVOD

Beton je jedním z nejrozšířenějších a nejpoužívanějších stavebních materiálů, se kterým se lidé setkávají každý den. Mezi jeho přednosti patří vynikající únosnost v tlaku, trvanlivost a požární odolnost. Vložením ocelové výztuže do betonu vzniká kompozitní materiál železobeton. Železobetonovou konstrukci je možné navrhnout ohýbanou, díky ocelové výztuži, která přenáší tahové síly.

V dnešní době je často při výstavbě vyvíjen tlak na rychlost realizace nosné konstrukce. Čas výstavby železobetonových konstrukcí se urychluje dobrou koordinací dílčích stavebních procesů, jako je stavba bednění, armování, použití metod urychlování tvrdnutí betonu a včasné odbedňování konstrukce.

Dalším faktorem, na kterém je proces výstavby monolitických železobetonových konstrukcí závislý, je rychlost nabývání pevnosti betonu vlivem jeho stárnutí. Existují různé modely pro odhad vývoje pevnosti betonu v čase (norma), přičemž ideální je mít pro daný beton i sadu. [1]

Architekti čím dál více navrhují netradiční konstrukce s komplikovanými statickými prvky, jako jsou například vyložené konstrukce. Tyto dominantní prvky, vystupující volně do prostoru jako konzola, mnohdy na první pohled odporují gravitačnímu zákonu. Z estetického hlediska jde o stavby efektní a obdivované. Navrhují se buď zjednodušeně pomocí modelů náhradní příhradoviny, nebo využitím MKP. Tato práce byla zaměřena na rozbor několika konstrukcí velkého vyložení a zabývala se analýzou statického řešení a provedením realizovaných konstrukcí velkého vyložení v ČR a ve světě. Teoretická část práce byla zaměřena na provádění monolitických konstrukcí a rychlost jejich výstavby, která ovlivňuje mimo jiné i cenu stavebního díla. Také se zabývala konstrukcemi podpěrnými, bednicími a způsobem ošetřování čerstvého betonu. Dále bylo popsáno dotvarování betonových konstrukcí způsobené jejich dlouhodobým zatížením. Také za jakých podmínek může dojít k odbednění konstrukcí a z ekonomických důvodů ponechat železobetonovou konstrukci dozrávat pouze podepřenou stavebními stojkami.



Obr. 1.1: Příklad konstrukce velkého vyložení [2]

V praktické části diplomové práce byla navržena vlastní železobetonová konstrukce, která vychází z architektonicky zajímavé konstrukce komerčního a kongresového centra Trimaran v Praze na Pankráci, rozbor jeho konstrukce je součástí kapitoly 3.1.1 této práce. Konstrukce vyložení Trimaranu využívá zavěšení vyložených 3 podlaží na předpjaté ocelové konstrukci uložené na střeše objektu, jedná se o kombinaci ocelových prvků s železobetonovými deskami.

Dále byl navržen a podrobně popsán způsob výstavby monolitické vyložené konstrukce, u které jsou náročné podmínky na provedení. Sousední stávající objekt se nachází pod navrženou konstrukcí vyložení a během výstavby nesměl být omezen jeho provoz. Proto bylo navrženo řešení výstavby za použití vahadla, které bylo užito k výstavbě vyložení směrem ven z objektu bez podepření ze střešního pláště sousední budovy. K výstavbě bylo navrženo u nás málo používané systémové tunelové bednění.

2. CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo poukázat na zajímavé a netradiční železobetonové konstrukce velkého vyložení realizované jak v České republice, tak také ve světě a na konkrétních rozdílně provedených příkladech těchto konstrukcí velkého vyložení provést rozbor jejich nosných systémů.

Hlavním cílem práce bylo navrhnout vlastní řešení vyložené konstrukce délky 15 metrů, s využitím pouze monolitického železobetonu k nosné konstrukci. Inspirací vlastního návrhu bylo komerční a kongresové centrum Trimaran ležící v Praze na Pankráci. Řešená problematika výstavby této konstrukce je ztížena skutečností, že se pod řešenou vyložnou konstrukcí nachází sousední objekt, který nesmí být výstavbou nijak fyzicky dotčen a jakkoli zabráněno jeho využívání během procesu výstavby. Vlastní řešení oproti Trimaranu předpokládá využití pouze železobetonu pro nosnou konstrukci, zahrnuje popis, jak se bude konstrukce v jednotlivých krocích výstavby provádět a také výstup výsledků ze statického softwaru namodelované konstrukce.



Obr. 1.2: komerční a kongresové centrum Trimaran Praha 4, Pankrác [3]

3. REALIZOVANÉ KONSTRUKCE VELKÉHO VYLOŽENÍ

3.1 Příklady staveb na území ČR

3.1.1 Komerční a kongresové centrum Trimaran



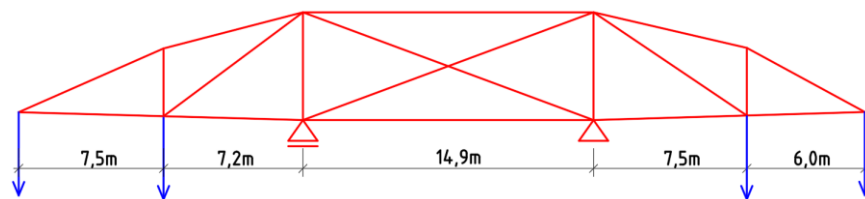
Obr. 3.1: Trimaran Pankrác [4]

Jedná se o skeletovou konstrukci se sedmi nadzemními podlažími. Na obrázku 3.1 je zachycena vyložená konstrukce vlevo, která se na budově opakuje třikrát. Na druhé straně (zobrazeno na obrázku 3.3) je též vyložená část, ale podstatně kratší, proto se rozbor zaměří na delší vyložení. Nápad na provedení konstrukce vyložení u této výjimečné stavby vznikl tak, že se vyprojektovaná stavba nevešla na pozemek investora. Řešením se nakonec stala vyložená konstrukce o třech podlaží vystupující z objektu nad sousední stávající objekt. Vyložená levá strana objektu o délce kolem 15 metrů je zavěšena na ocelové superkonstrukci skládající se ze třech předepnutých vazníků. Tato nosná příhradová konstrukce je kloubově podepřena dvojicí podpor na středním traktu budovy. Jedna kloubová podpora umožňuje vodorovné posunutí díky použitému ocelovému válcovému ložisku, které je jako posuvná podpora znázorněno na obrázku 3.2. Dolní pas této příhradové konstrukce je tedy uložen jako prostý nosník s převislými konci, vlevo je zavěšena vyložená část a napravo jsou jako protiváha zavěšeny čtyři podlaží vnitřní

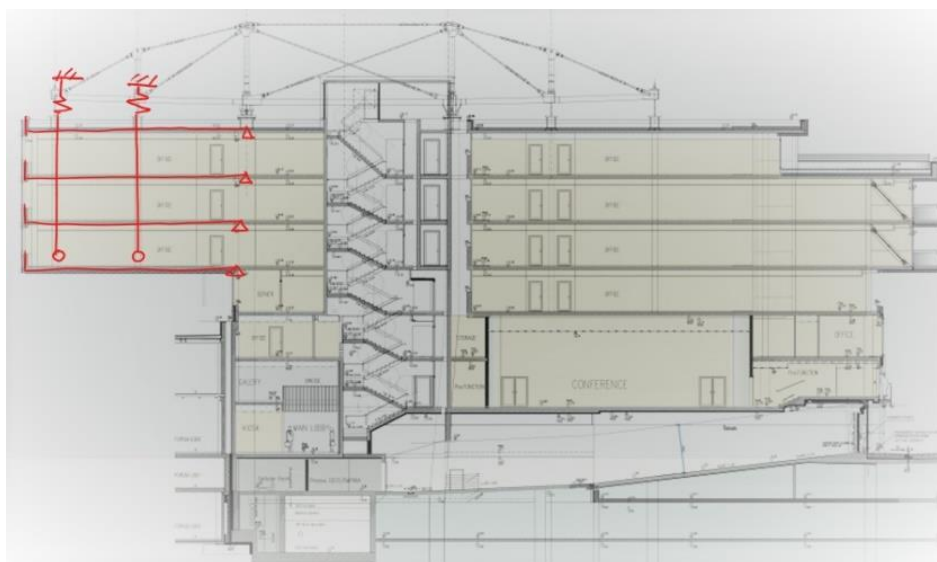
části objektu. Díky zavěšení vnitřní části objektu v pravé části bylo možné navrhnout otevřený prostor sálu o velkém rozponu stropu bez podepření sloupy. Z převislého levého konce vazníku byly spuštěny dodatečně předpínané duté ocelové kruhové sloupy, na kterých je kotven v místě stropních konstrukcí ocelový rošt pro ukládání prefabrikovaných jednosměrně pnutých dutinových předpjatých panelů Spiroll. Tyto sloupy nesoucí rošt byly dodatečně v průběhu výstavby předepnuty a zainjektovány. Stropní desky jsou na hlavní část budovy napojeny kloubově přes ozub.

Pod vyloženou konstrukcí se po celou dobu výstavby nacházel stávající objekt konferenčního centra, který byl při výstavbě v provozu a byl použit pro podepření, než se ocelová superkonstrukce předepla a desky byly vyzdviženy. [5] [6]

Statické schéma vyložené konstrukce je na obrázku 3.3. Sloupy modelované jako kyvné pruty jsou z vrchu podepřeny pružně, na nich jsou zavěšeny desky, které jsou kloubově uloženy na středním traktu.



Obr. 3.2: Statické schéma uložení ocelového příhradového vazníku



Obr. 3.3: Statické schéma vyložené konstrukce Trimaran Pankrác [7]

3.1.2 Administrativní komplex East Building



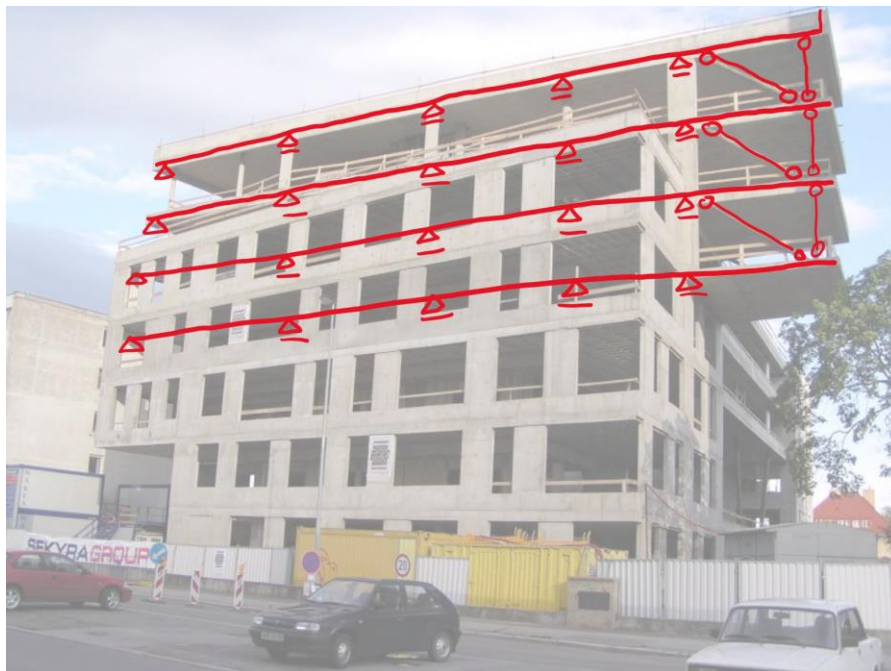
Obr. 3.4: Výstavba budovy East Building [8]

Komplex East Building stojí v pražské Krči na adrese Antala Staška 510/38. Má tři podzemní a 7 nadzemních podlaží. Jedná se o železobetonový monolitický skeletový systém. Nosná konstrukce vyložení o délce 6 metrů se skládá z ocelobetonových diagonál, ocelobetonových sloupů a železobetonových desek. Diagonály jsou namáhány tahem. Celkové tuhosti konstrukce vyložení pomáhají ocelové vertikální sloupy lokalizovaných poblíž rohů stropních desek. Tyto sloupy jsou namáhány na tlak. Stropní desky vyložení jsou spojené s deskami objektu.

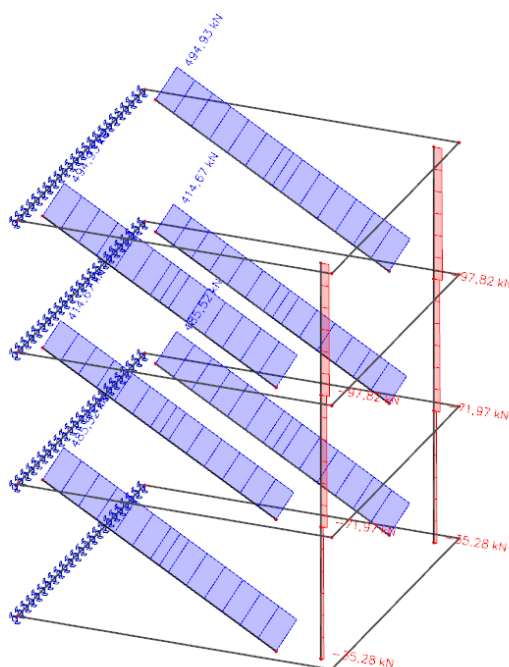
Vodorovné prvkové systémové bednění pro betonáž vyložené konstrukce spodní desky bylo během výstavby podepřeno příhradovými podpěrnými věžemi z terénu. Do stropních desek byly při betonáži ukládány ocelové patky pro spojení stropních desek s ocelobetonovými sloupy a diagonálami. Další železobetonové desky ve vyšších patrech byly betonovány opět do prvkového systémového bednění, tentokrát podepřené stavebními stojkami s trojnožkami postavené na vyvrácené betonové desce. Každé patro vyžadovalo technologickou přestávku a po odbednění byla konstrukce dočasně podstojkována.

Statický model vyložené konstrukce v programu SCIA Engineer na obrázku 3.6 byl vytvořen pro různé kombinace užitého zatížení včetně stálého zatížení. Bylo

výpočetně ověřováno, zda v některé kombinaci zatížení dojde k situaci, kdy jsou například diagonály tlačené, nebo sloupy tažené. Model vyloučil, že by k takovému stavu došlo.



Obr. 3.5: Statické schéma konstrukce East Building [9]



Obr. 3.6: Výstup normálových sil pro obálku MSÚ (červeně zobrazen tlak, modře tah)

3.2 Příklady staveb ve světě

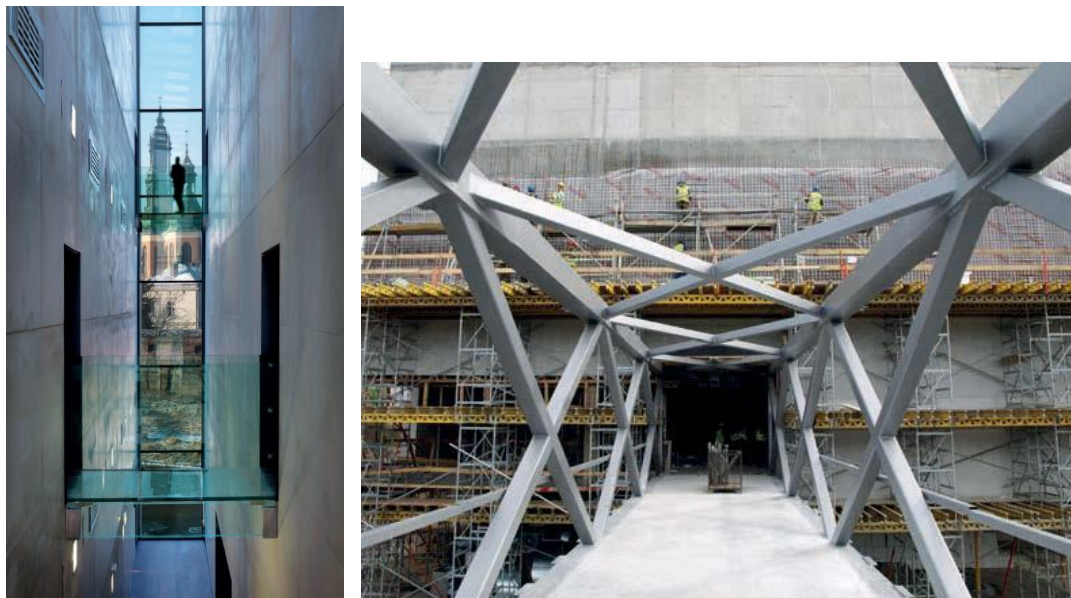
3.2.1 Brama Poznania



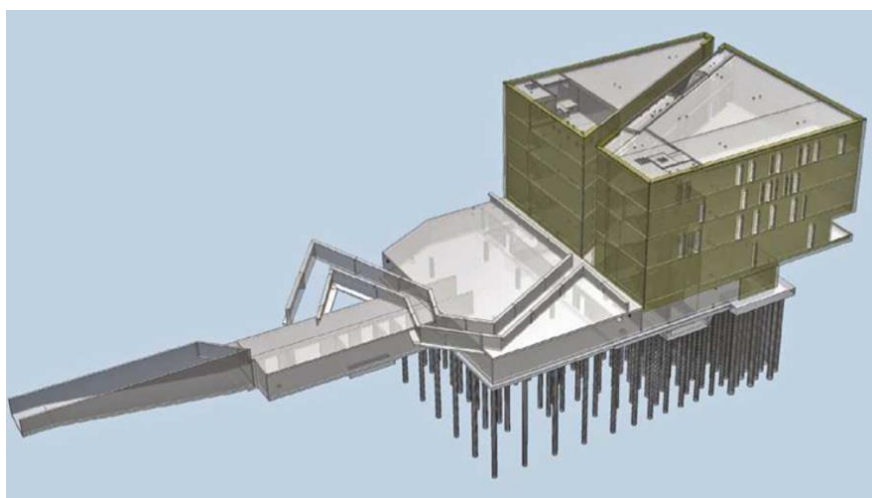
Obr. 3.7: Brama Poznania ICHOT [10]

Objekt je využíván jako muzeum a leží v Polsku, konkrétně ve městě Poznaň. Nosná konstrukce této stavby je postavena z železobetonu třídy C35/40, technologické provedení je monolitické. Venkovní povrch tvoří panely z pohledového betonu a mezi ně a nosnou konstrukci byla vložena tepelná izolace. Objekt je rozdělen na dvě části šikmým průchodem skrz čtvercový půdorys o rozměru 32 x 36,5 metrů. Mezi oběma částmi budovy byly použity lepené skleněné propojovací lávky uložené na 2 podporách jako prostý nosník o rozpětí 2,3 m (obr. 3.8). Stavba je založena na 224 vrtaných CFA hlubinných pilotách o průměru 600 a 800 mm a délkách 11 a 15 metrů. Podsklepené je částečně jedno patro pod úroveň terénu. Počet nadzemních podlaží je pět. Objekt je propojen s historickou budovou na sousedním břehu pomocí ocelové příhradové lávky dlouhé 62,4 metrů uložené jako prostý nosník. Staticky je možné konstrukci definovat jako dva oddělené komorové nosníky, převislá část je zhruba 15 metrů dlouhá. Při řešení bylo potřeba posoudit, zda nedojde k překlopení konstrukce při nejnepříznivěji působícím zatížení na konci vyložení, kde se nachází kavárna a výstavní sály. Cílem bylo navrhnout co nejlehčí konstrukci vyložení a na druhé straně dostatečně přitíženou část přiléhající k zemině. Z objektu vystupuje pod terénem železobetonová deska přilehlých podzemních garáží, která prodlužuje rameno k protilehlému vyložení a pomáhá se stabilitou

objektu (obrázek 3.10). Stropní desky jsou tloušťky 300 mm a 2 nejvíce namáhané mají 400 mm, jsou vylehčeny plastovými tvarovkami výrobce Cobiax ve tvaru koule. [11] [12]



Obr. 3.8, 3.9: Skleněné lávky v průchodu budovy a výstavba Brama Poznań [11] [12]



Obr. 3.10: BIM model objektu Brama Poznań [11]

3.2.2 Casa Cruzada

Posledním příkladem je rodinný dům ležící ve Španělsku v oblasti La Alcayna. Název „Casa Cruzada“ v překladu ze španělštiny znamená překřížený dům. Dům je postaven monoliticky z pohledového železobetonu a jeho vyložení dosahuje délky 10 metrů. Jeho základem jdou dva tubusy průřezu obdélník se zakulacenými hranami. Tubusy mají délku 20 metrů, šířku 5 metrů a jsou vzájemně natočeny o 35°. Staticky se jedná o plnostěnný železobetonový komorový nosník, který působí jako konzola o vyložení 10 metrů. [13]



Obr. 3.11: Casa Cruzada [14]

4. TECHNOLOGIE VÝSTAVBY IN SITU

Jedním z hlavních požadavků investora je začít užívat stavební dílo co nejrychleji. Pro developery bytových domů, nebo pro komerční firmy znamená zpoždění výstavby ušlý zisk. Proto se výstavba monolitických železobetonových konstrukcí urychluje, aby se co nejdříve odbedňovaly a bednění bylo využito ke stavbě dalších záběrů, nebo se vrátilo zpět do půjčovny. Každým dnem, kdy je bednění na stavbě se vynakládají nemalé prostředky na jeho pronájem a pronájem další stavební mechanizace k jeho montáži.

Časové úspory při rychlé výstavbě je zpravidla možné dosáhnout návrhem konstrukce jednoduchých tvarů, ideálně stropní desky rovné se skrytými hlavicemi a průvlaky. Touto alternativou se zrychluje postup prací a sníží náklady na mzdy. Přestože stavba bednění zaujímá časově nejnáročnější položku v porovnání s přípravou výztuže a samotnou betonáží, patří zjednodušení tvaru k hlavnímu ovlivňujícímu faktoru. Výstavbu je dobré nekomplikovat atypickým bedněním, ale snažit se vždy použít průmyslově vyráběné systémové bednění pro opakovanou betonáž, které vyjde výrazně levněji.

Veliká výhoda monolitických konstrukcí spočívá v tuhém spojení všech vodorovných a svislých prvků v jeden celek, tím je dosaženo větší odolnosti konstrukce proti rozdílnému sedání částí konstrukce v základové spáře, výbuchu, nárazu vozidla nebo zemětřesení v seismických oblastech.

Výrobní procesy monolitických železobetonových konstrukcí vyráběných přímo na staveništi jsou ovlivňovány vlivem počasí a dále celý proces výstavby vyžaduje technologické přestávky, při nichž dochází ke zrání betonu. Pro urychlení výstavby monolitických konstrukcí je také zásadní rychlé provedení výstavby bednění, a s tím spojených podpůrných konstrukcí. Další aspekt, který musí být v co nejkratším intervalu je ukládání betonářské výztuže. Výztuž je vhodné použít v podobě prefabrikovaných svařených sítí, armokošů a následně je osadit do bednění, čímž se šetří čas. Výstavba monolitu vyžaduje vysoký počet pracovníků a strojní techniky na staveništi z důvodu mnoha navazujících procesů.

Často se v praxi stává, že se projektant snaží tvar navržené konstrukce příliš optimalizovat, což vede k pracnému provádění, zpomalení a tím zvýšení nákladů výstavby. Proto je v tomto případě lepší od pracného provádění upustit za cenu

použití většího množství prostavěného betonu. Produktivita práce se zvyšuje opakováním stejných prvků v konstrukci.

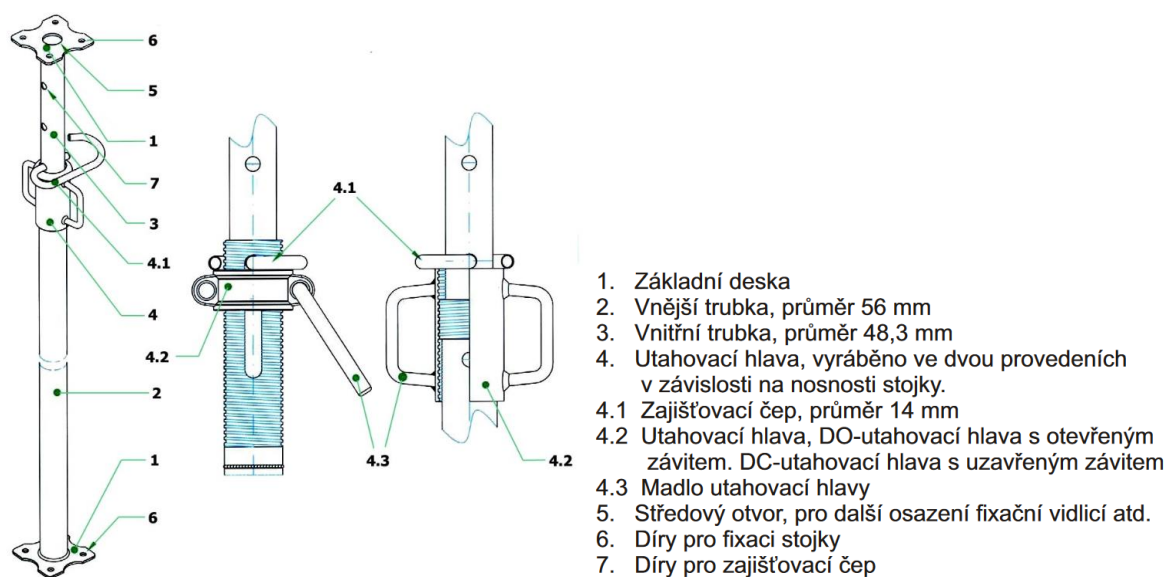
Výroba svislých nosných konstrukcí stěn a sloupů je snadná a rychlá díky možnosti rychlého odbednění konstrukce. Prvky, které jsou pracné na výrobu a které zpomalují výstavbu, je možno nahradit prefabrikáty. Jedná se o vodorovné konstrukce průvlaků, trámů a schodišťových ramen, které se odbedňují po delší době. Často jsou v praxi k vidění prefa-monolitické konstrukce, kde se prefabrikovaný vodorovný prvek použije jako ztracené bednění. [15]

4.1 Podpěrné konstrukce

4.1.1 Podpěry pro bednění vodorovných konstrukcí

Podpěry pro bednění vodorovných konstrukcí přenáší svislé tlakové síly od tíhy materiálu (železobetonu), technologií a pracovníků do podloží, nebo zatěžuje již vystavenou vodorovnou konstrukci. Do této skupiny se řadí ocelové **stavební stojky** (někdy nazývány jako podpěrné stojky). Tato stojka umožňuje výškové nastavení díky perforované trubce menšího průměru, která se zasouvá do trubky o větším průměru (tato trubka stojí dole). Aby se stojka nastavila na hrubou výšku, tak se zasune pojistný čep skrz provrtané otvory z boku obou trubek. Přesné nastavení se provádí dotažením utahovací hlavy (obrázek 4.1). Stavební stojkou je možné podepřít stropní konstrukce výšky až 5,5 metrů. Při návrhu podepření stavebními stojkami je potřeba se řídit podklady výrobce, protože s větší délkou stojky klesá její únosnost. Vodorovné síly působící na stojky pohybem pracovníků po bednění se zachycují zavětrováním za použití diagonál z trubek nebo prken připevněnými sponami ke stojkám. Horní perforovaná vysouvací trubka má na konci základní (hlavovou) desku s otvorem, kterou se opírá o strop. Na hlavovou desku je možné upnout vidlici pro fixaci nosníků prvkového bednění (křížová hlavice) nebo přidržovací hlavici

Dalším doplňkem stavebních stojek jsou trojnožky, které mají za úkol držet stavební stojku ve své pozici při stavění bednění stropu z podlahy (trojnožky a křížové hlavice jsou na obrázku 4.6). [15]



Obr. 4.1: Příklad stavební stojky výrobce EAP s popisem částí [16]

Dosažení větší únosnosti je možno robustnějším průřezem, který lépe odolává vzpěrnému tlaku. Příkladem takovéto stojky je vysokopevnostní podpěra s integrovanou regulací zatížení od výrobce PERI (obrázek 4.2). Tato stojka má únosnost až 200 kN do výšky 8 metrů a je možné ji využít při rekonstrukcích, kde je požadováno vnesení předpětí do stojky pomocí přídavného hydraulického válce. [17]



Obr. 4.2: Vysokopevnostní podpěry HD PERI UP Flex [17]

Podpěrné věže (obrázek 4.3) slouží pro podepření vodorovné konstrukce ve vyšších výškách (do 30 metrů), než u stavebních stojek. Půdorysný tvar nosného rámu věže je čtverec nebo trojúhelník. Věže se dají propojovat mezi sebou a tím zvýšit únosnost. Na patě případně hlavě věže se nachází rektifikační šroub, který

umožňuje přesné výškové nastavení. Zavětrování věží je řešeno ocelovými diagonálami. Věže se staví z menších dílů napojovaných ve vodorovné poloze, ze které se zvedají jeřábem do vertikální polohy. [15]

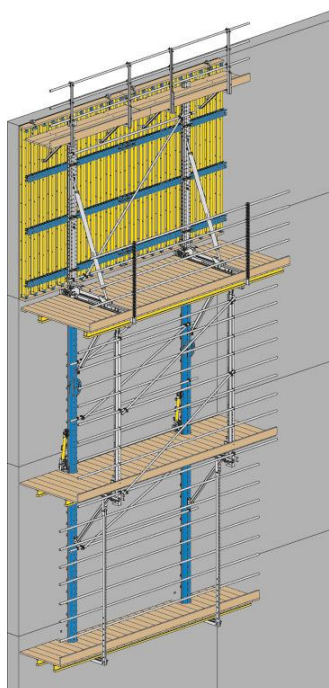


Obr. 4.3: Podpěrná věž PERI ST 100 [18]

4.1.2 Podpěry pro bednění svislých konstrukcí

Ne vždy je možné postavit svislé bednění stěn na stropní či podlahovou konstrukci, proto tyto konstrukční systémy slouží k podepření bednění v těchto komplikovaných místech. Podpírají stěnové bednění o hotovou konstrukci vertikálních monolitických stěn. Svislé zatížení od čerstvého betonu přenáší stěny pod nově betonovaným záběrem, nikoliv podpěrný systém stěnového bednění. Na tyto podpěrné konstrukce je možné postavit opěrné konstrukce stabilizátorů stěn. V takovém případě stabilizátor vyvíjí vodorovné síly na podpěrnou konstrukci, která musí být naddimenzována tak, aby tyto síly zachytila.

Příkladem takové konstrukce je **samošplhací bednění** (obrázek 4.4), které je schopno se posouvat vzhůru bez použití jeřábu. Zdvihání probíhá za pomoci hydrauliky po vodícím profilu, který se během výstavby kotví k železobetonové konstrukci stěn a před samotným zdvihem bednění se vodící profil osazuje na vyšší úroveň. Tímto systémem je možné vybednit ztužující jádra výškových budov, obvodové stěny ze strany fasády. [15]



Obr. 4.4: Samošplhací bednění DOKA Xclimb 60 [19]

4.2 Bednicí konstrukce

Monolitické konstrukce je možné navrhovat a provádět tvarově rozmanité. Bednění je dočasná a pomocná konstrukce sloužící k ukládání a zhutnění čerstvého betonu a také udržení tvaru čerstvě odlévané betonové směsi do doby, než bude betonová konstrukce schopna přenášet zatížení výstavbou, bez vykazování známek nadlimitní deformace. V bednění dochází k jevu tuhnutí a tvrdnutí betonu způsobeným fyzikálně-chemickými reakcemi. V momentu, kdy má beton dostatečnou pevnost je možné konstrukci odbednit a bednění použít v dalším záběru. Bednění se skládá z bednicího pláště, který je v kontaktu s betonem a výztuh na straně vnitřní/vnější. Pojem životnost konstrukce označuje dobu, po kterou je bednění schopno bezchybně plnit svou funkci, ke které bylo určeno. Životnost bednění je závislá na zacházení a manipulaci s ním.

Bednicí plášť má rozhodující vliv na výslednou kvalitu povrchu betonové konstrukce, což je hlavním kritériem pohledového betonu. Vnější výztuhy jsou zpravidla roštového typu – nosníky křížem v obou směrech. K výztuhám se připevňuje plášť, a proto zabraňují jeho deformacím průhybem a roznáší napětí, které působí na plochu pláště od čerstvé směsi betonu během ukládání a hutnění. Výztuhy přenášejí síly do podpěrných konstrukcí. Jako vnitřní výztuhy používané

u oboustranného bednicího systému jsou zpravidla spínací tyče se závitem na obou koncích procházející bedněním, které se stahují matkou do požadované rozteče pláště bednicí formy. Do formy se též vkládají vnitřní rozpěrky, které zajišťují přesnost tvaru. Jednostranné bednění vyvozuje šikmé a vodorovné síly, které se přenáší z výztuh pláště opěrným systémem poskládaným ze vzpěr, nebo k tomu určených trojúhelníkových rámců. Opěrné konstrukce se kotví proti posunu, nebo zdvihání do vodorovných konstrukcí.

Bednicí konstrukce musí zajistit po dobu betonáže, tuhnutí a tvrdnutí betonu svou pevnost, proto musí být proveden posudek její únosnosti a stability. Na prvky bednění též působí vodorovné plošné zatížení větrem a zatížení pohybem pracovníků. K tomu, aby bylo dosaženo únosnosti, se používají stabilizační prvky zavětrování podpěrných a opěrných konstrukcí, a také stabilizátory stěn. Aby bylo možné odlévat a zpracovávat čerstvou betonovou směs do formy, musí být postaveny a připojeny ke konstrukci bednění pracovní plošiny umožňující pohyb pracovníků.

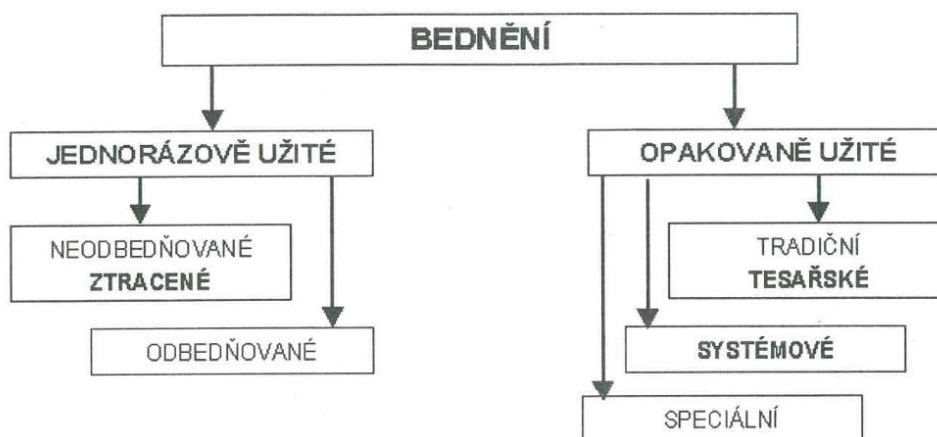
Vždy je potřeba u monolitických konstrukcí použít bednění dostatečně spolehlivé a odolné proti účinkům přetvoření během otřesů vyvolaných ukládáním a hutněním betonové směsi. Tyto účinky zatížení a jejich nepříznivý vliv může vyvolat posun bednění, a tím dochází k překročení povolených tolerancí odchylky zamýšlené geometrie. Uložená čerstvá betonová směs obsahuje velké množství vody potřebné k hydrataci, která se nesmí v žádném případě ztrácet z bednění. Voda spolu s cementem vytváří cementovou maltu a nejčastěji protéká spárami během hutnění. Z toho důvodu je požadována maximální těsnost mezi prvky bednění. Dalším požadavkem na bednění je jeho odolnost proti vodě obsažené v betonu a vodě použité k ošetřování směsi, respektive jeho kvalitní nenasákavý povrch. Bednicí konstrukce musí být mimo jiné dostatečně bezpečná pro pohyb pracovníků během výstavby. Provedení bednění musí zamezit poškození odbedňované konstrukce při demontáži jednotlivých prvků bednění.

Před každým použitím bude bednění důkladně očištěno a nanesen separační prostředek, aby byla zajištěna maximální kvalita povrchu budoucí konstrukce a snadné odbedňování.

Požadavkem na provádění bednicích konstrukcí je co nejnižší pracnost během výstavby, toho je dosaženo velkými díly skládanými pomocí jeřábu. U výstavby vodorovných konstrukcí bednění stropů se často staví bednění ručně ze země. [15]

4.2.1 Druhy bednění

Hlavní dvě skupiny pro dělení bednění jsou podle jeho obrátkovosti na jednorázově použité a opakovatelně použitelné.



Obr. 4.5: Rozdělení bednění podle možností jeho opětovného užití [15]

Bednění, které je ponecháno v konstrukci bez jeho dalšího odstranění se nazývá ztracené bednění. Ztracené bednění se využije v místech po betonáži nepřístupných k odbednění, tam kde je účelně zamýšleno jako povrchová úprava, nebo může sloužit jako nosný prvek. Příkladem ztraceného bednění je výroba železobetonových stropů betonovaných do ocelového profilovaného plechu u ocelových skeletů. Dalším významným zástupcem jsou Filigránové panely [https://www.prefa.cz/wpcontent/uploads/2016/06/prefa_brno_katalogove_listy_stropni_panely_filigran.pdf], které mají funkci bednění a jsou samonosné. Pro následné zalití betonovou směsí se musí vždy podepřít stavebními stojkami. Výhodou tohoto systému je absence bednění a zároveň menší pracnost a také vysoká kvalita spodního povrchu. Ztracené bednění pro výstavbu sloupů v podobě ocelových trubek, které se zevnitř vybetonují, nahrazují výztuž v betonovém sloupu (ocelobeton). Betonáž sloupů vyžaduje důkladné zvibrování, aby se dobře probetonovaly. Dalším zástupcem ztraceného bednění jsou různé tvarovky, převážně z izolačních materiálů pro stavbu zdí a následné zmonolitnění betonem. Pro stropní konstrukce je typický zástupce keramický vložkový strop.

Jednorázově užitá bednění se vyrábí z levných materiálů (papír z recyklátů) a po vyzrání betonu se sejme z konstrukce. Používá se především k výstavbě kruhových sloupů z lepenkových trubíc papíru. Vnitřek trubice má vodonepropustnou úpravu povrchu.

Opakovaně užívaná bednění je po vybetonování a odbednění konstrukce možno znovu použít na vybednění dalších záběrů. V současnosti, kdy je trh s bedněním velice rozmanitý a jejich vývoj prošel spoustou vylepšení, je na ústupu používání tradiční bednění kvůli své pracnosti a neefektivitě, proto se využívá v ojedinělých případech, kde je nezbytně nutné. Zato opakovaně užitá systémová bednění získala zaslouženou popularitu a hojně se využívají při výstavbě po celém světě. Jejich základem je sestava průmyslově vyráběných prvků. Spojování jednotlivých prvků mezi sebou umožňují patentové spojovací díly. Použití kvalitních a zároveň trvanlivých materiálů znamená možnost využití bednění pro desítky opakování. Snadná montáž a přesně vyráběné dílce zajišťují rychlou výstavbu.

Další skupinou opakovaně užívaných bednění jsou finančně nákladná bednění speciální. Používají se k bednění konstrukcí s velkým opakováním prvků, u kterých je neefektivní využít bednění systémové. [15]

4.2.1.1 Prvkové bednění

Patří do skupiny systémových bednění, systém se skládá z bednicího pláště a jednotlivých nosníků. Systém je rozebíratelný na jednotlivé prvky, avšak na stavbu se dodává často v podobě větších složených celků (panelů). Bednicí plášť je vyráběn z lepených dýh se směrem vláken kolmo na sebe, čímž se zvyšuje pevnost v ohybu. Dalšími možnostmi používanými k výrobě pláště jsou desky třívrstvé a laťovky s nižší hmotností než plášť z překližek.

Nosníky tohoto systému se vyrábí jako lepené profily „I“ plnostěnné a příhradové ze dřeva. K výrobě stojiny se používá překližka a dřevotříska. U nás se i přes svou vyšší pracnost v porovnání s rámovým bedněním převážně používá na bednění stropních konstrukcí, kde je možné bednění montovat ručně ze země (obrázek 4.6). [15]



Obr. 4.6.: Prvkové stěnové bednění DOKA 1-2-4 [20]

4.2.1.2 Rámové bednění

Jedná se o systémové bednění, které nepotřebuje další výztuhy. Jsou vyráběná pro ruční i jeřábní manipulaci. Rámy jsou vyráběny ze svařovaného kovu – oceli nebo hliníku. Plášť bednění je z vodonepropustné vícevrstvé překližky. Tímto typem bednění se bední převážně vertikální stěny a sloupy (obrázek 4.7). [15]

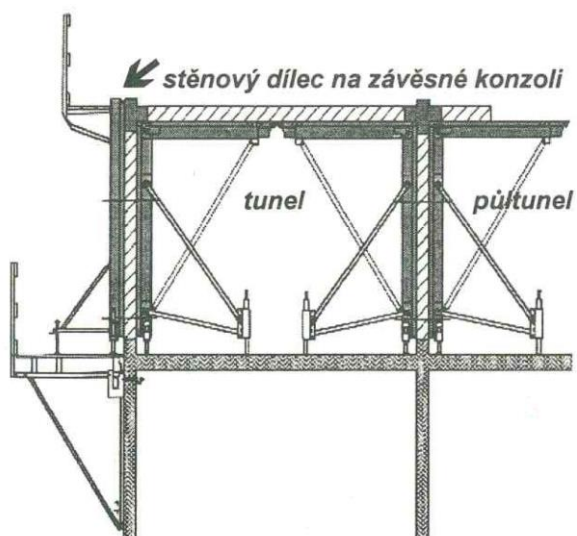


Obr. 4.7.: Rámové bednění PERI TRIO [21]

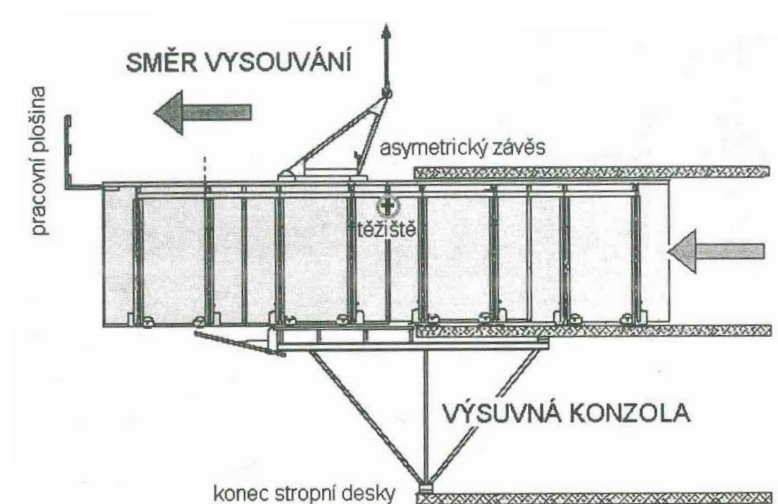
4.2.1.3 Tunelové bednění

Patří do skupiny opakovatelně užitých speciálních bednicích systémů. Umožňuje betonovat v jednom záběru (dni) stěny současně se stropní deskou. Části, z kterých je bednění složeno tvoří vertikální a horizontální panely a vzpěry, systém neobsahuje čela, ani dno. Vysoká kvalita povrchu ocelového tunelového bednění, přesnost a rychlost výstavby díky minimální pracnosti přináší hlavní výhody a také důvod, proč upřednostnit ke stavbě opakovaných prvků právě toto bednění. Využívá se masivně v zahraničí zejména pro výstavbu koridorového (chodbového) typu konstrukcí jako jsou nemocnice, bytové objekty, hotely či věznice.

Výstavba konstrukce pomocí tunelového bednění připomíná skládání krabic, používá se hlavně u stěnových příčných nosných systémů. Aby se investice do tohoto typu bednění vyplatila, musí být zajištěn velký počet obrátkovosti. Manipulace s tunelovým bedněním vyžaduje vždy jeřáb. Bednění je také možné rozložit na půltunely (schéma na obrázku 4.8). Aby vespod bednění nevytékala betonová směs, tak se zřizují vodící prahy na podkladní desku, které mají šířku budoucí stěny. Aby bylo možné bednění po dokončení záběru vysunout z konstrukce, musí se před betonáží zdvihnout pomocí rektifikovatelných šroubů. Tunelové bednění je zpravidla dodáváno s kolečky, která po spuštění bednění z vyzdviženého stavu pomáhají ve vysunutí z vybetonované konstrukce. Na obrázku 4.9 je znázorněno vysouvání bednění pomocí asymetrického závěsu jeřábem a výsuvné konzoly. Bednění se pokládá na železobetonovou desku, na kterou se napojí armatura stykováním výztuže, místa napojení na desce musí být očištěna od všech nečistot. Kvalita povrchu betonu po odbednění je výborná a není potřeba povrch omítat. Stavba bednění není časově ani co do množství sestavujících pracovníků náročná. Během projektování konstrukce je třeba zohlednit typové rozměry výrobků tunelového bednění výrobců a tím si ušetřit možné pozdější komplikace s časovým a finančním navýšením za výrobu atypických rozměrů. Ocelový plech na vnitřním povrchu bednění o tloušťce 3 mm zaručuje pevnost i odolnost a možnost využít až pro 500 opakování betonáže. Dále díky ocelovému plechu je možné bednění z vnějšku ohřívat, a tím betonovat v zimě, nebo urychlit proces tuhnutí a tvrdnutí. [15] [22]



Obr. 4.8: Prvky tunelového bednění [15]



Obr. 4.9: Vysouvání tunelového dílce ze záběru pomocí jeřábu [15]

4.3 Pracovní spáry

Obecně je nejlepší se pracovním spárám vyhnout, protože představují riziková místa v konstrukci. Pokud je to možné, tak se přerušení betonáže pracovní spárou provádí v místě, ve kterém je konstrukce namáhána nejmenší tahovou nebo smykovou silou. Tlak působící na konstrukci by měl být k pracovní spáře kolmý.

Spolupůsobení konstrukce v pracovní spáře se dosáhne napojením výztuže v místě pracovní spáry stykováním. Betonářská výztuž se stykuje minimálně o kotevní délku. Pro předpjatou výztuž se používají kabelové spojky. Výztuž, která má být vytažena z bednění pro stykování není vždy možné protáhnout skrz bednění,

například z důvodu jeho znehodnocení u více obrátkových systémů. Aby se nemuselo přistupovat k vrtání do bednění, je možné čelo záběru zabedit buď tvarovaným plechem, nebo použitím vyztuženého pletiva s drobnými oky, které nepustí betonovou směs. [15]



Obr. 4.10: Příklady provedení pracovní spáry pomocí plechu s drážkou [15]

Moderní a oblíbený způsob řešení spolupůsobení výztuže spočívá v osazení a zabetonování vylamovacích lišt do bednění prvního záběru, z kterých se výztuž ohnutím narovná. Tato metoda se hlavně rozšířila u provádění schodišťových podest. U profilů průměru nad 14 mm není ohnutí výztuže možné, proto se v zabetonované liště nachází nástavce (spojky) se závitem, které se našroubují na výztuž. [15]

4.4 Okamžik odbednění a odstranění podpůrné konstrukce

Aby vybetonovaná konstrukce dosáhla požadovaných vlastností – zpravidla únosnosti, je zapotřebí mezi procesem betonování a okamžikem odbedňování nechat proběhnout dostatečnou dobu, takzvanou technologickou přestávku. Technologickou přestávku je třeba efektivně zahrnout do harmonogramu výstavby a podle toho plánovat uspořádání na sebe navazujících procesů výstavby. Kapitola 5.3 je zaměřena na postupy, kterými se zkracuje technologická přestávka potřebná pro zrání betonu.

Norma ČSN EN 13670: Provádění betonových konstrukcí (kapitola 5.7 Odbedňování a demontáž podpěrného lešení) uvádí:

Doporučení odbedňovat konstrukci při dosažení pevnosti alespoň 5 MPa, aby se zamezilo poškození povrchu trhlinkami. Použít pomocné podpěry a tím přenést zatížení, které vyvozuje betonová konstrukce. Betonová konstrukce se může ochránit, a tím zabránit poškození jejího povrchu vlivem počasí do doby, než beton nabyde požadované pevnosti.

Doba odbedňování závisí hlavně na pevnosti betonu. Proto betonové konstrukce s rychlým nárůstem pevnosti je možné odbedňovat dříve. Pro výrobu betonu, kde se urychlovalo tvrdnutí, se používají cementy vyšší třídy. V praxi se odbedňují konstrukce často podle doporučených údajů pro různé typy konstrukcí a použitého cementu v tabulce na obrázku 4.11. Rychlé odbednění při nedostatečném vyžrání může vést ke kolapsu konstrukce, proto je třeba vždy měřit pevnost betonu Schmidtovým kladívkem. [23] [15]

| Cement | Nenosné bočnice trámů a bednění stěn a sloupů | Bednění stropní desky | Podpěry trámů, průvlaků a desek o velikém rozpětí |
|----------------------------|--|--------------------------|--|
| | dny | dny | dny |
| CEM II 32,5 | 4 | 10 | 28 |
| CEM I 32,5 | 3 | 8 | 20 |
| CEM I 32,5 R CEM I 42,5 | 2 | 5 | 10 |
| CEM I 42,5 R CEM I 52,5 | 1 | 3 | 6 |

Obr. 4.11: Technologické přestávky pro odbedňování podle DIN 1045 [24]

4.3 Ošetřování betonu

Aby mohly probíhat v čerstvě uloženém a zhuťněném betonu do bednění fyzikálně-chemické procesy tvrdnutí a tuhnutí, tak musí být zajištěny příznivé podmínky, za kterých je to možné. Podklad (bednění) nesmí vykazovat žádné deformace ani otřesy při hydrataci betonu. Musí být zajištěna optimální teplota a vlhkost. Dokud nedosáhne beton 70 % své pevnosti, tak musí být v prostředí příznivé teploty i vlhkosti.

Ošetřováním se předchází vzniku trhlin v betonu, znehodnocení betonu nebo zpomalení rychlosti vývoje pevnosti. Konstrukci je nutné chránit proti rychlému vysychání od účinků větru a vysoké teploty vlivem slunečního záření. U betonu s portlandským cementem musí být alespoň po 7 dnů zajištěna vlhkost. Vlhkost betonu se zajistí přikrytí PE folií, přikrytí navlhčenou geotextilií, nástřiky pružného ochranného filmu nebo kropením vodou. Při nízkých teplotách se zpomaluje tuhnutí betonu a při 0 °C se hydratace zastaví. Proto se za nižších teplot zatepluje bednění a používají se k ohřívání betonu topné rohože, ohřívá se bednění, uzavírá

konstrukce pod vytápěný přístřešek, který udržuje teplo a chrání beton mimo jiné proti působení studeného větru. Dokud nedosáhne beton s portlandským cementem pevnosti minimálně 6 MPa, tak se tímto opatřením zamezuje, aby teplota prostředí při jeho tuhnutí a tvrdnutí neklesla pod 5 °C. [15]

5. VLASTNOSTI BETONU S VLIVEM ČASU

5.1 Modul pružnosti betonu

Nárůst pevnosti betonu v čase závisí podle normy [25] ČSN EN 1992-1-1 na typu a dávkování použitého cementu, teplotě a způsobu ošetřování. Dále také na vodním součiniteli, obsahu přísad ovlivňujících hydrataci. Se stářím betonu roste nerovnoměrně jeho pevnost, počáteční nárůst je rychlý, poté se zpomaluje, až se v určitém čase ustálí. Pro průměrnou teplotu +20 °C a běžné podmínky ošetřování se stanovuje průměrná hodnota pevnosti betonu v tlaku $f_{cm}(t)$ a modul pružnosti betonu $E_{cm}(t)$ následujícím způsobem:

$$\beta_{cc}(t) = \exp\left\{s \left[1 - \left(\frac{28}{t}\right)^{1/2}\right]\right\} \quad (5.1)$$

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) * f_{cm} \quad (5.2)$$

$$E_{cm}(t) = \left(\frac{f_{cm}(t)}{f_{cm}}\right)^{0,3} * E_{cm} \quad (5.3)$$

Koeficient s závisí na druhu použitého cementu a má hodnotu:

0,20 pro cementy vysokopevnostní rychle tuhnoucí: CEM 42,5 R, CEM 52,5 N, CEM 52,5 R (třída R)

0,25 pro cementy normální a rychle tuhnoucí: CEM 32,5 R, CEM 42,5 N (třída N)

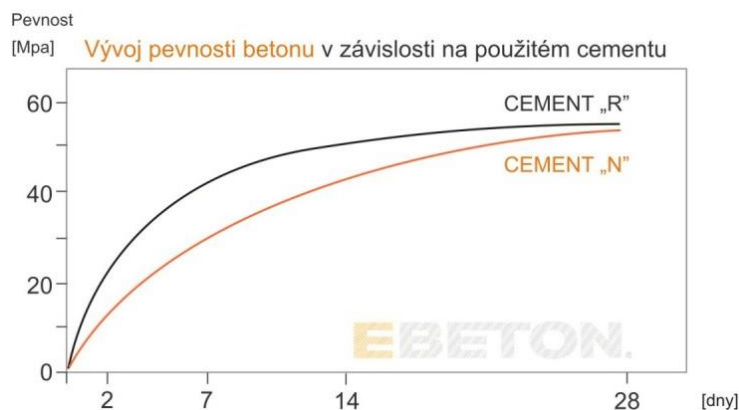
0,38 pro cementy s pomalým tuhnutím: CEM 32,5 N (třída S) [25] [26]



Obr. 5.1: Vývoj pevnosti betonu v závislosti na teplotě prostředí [27]



Obr. 5.2: Vývoj pevnosti betonu v závislosti na vaznosti cementu [27]



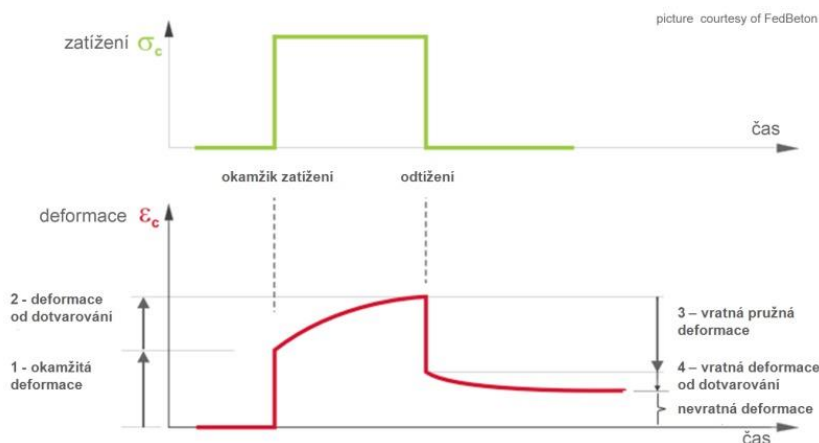
Obr. 5.3: Vývoj pevnosti betonu v závislosti na použitém cementu [27]

5.2 Dotvarování betonu

Dotvarování je pouze zlomkem celkové deformace betonové konstrukce. Souvisí s mezním stavem použitelnosti železobetonových konstrukcí, protože v důsledku dlouhodobého zatížení konstrukce dochází k nárůstu průhybů. Jedná se o deformaci plastickým (nevratným) přetvořením. Vystavení betonové konstrukce

dlouhodobému zatížení tlakem vede k dotvarování a nárůstu deformace. V mikrostruktuře betonu je obsažena voda v pórech, která je vytlačována ven do kapilár. Skrz kapiláry díky působícímu napětí se voda transportuje k povrchu prvku, na kterém se odpařuje. Tím dochází k úbytku vody a snížení objemu, což pochopitelně vede ke stlačení železobetonové konstrukce. Proto dotvarování závisí na receptuře betonové směsi (pro snížení dotvarování je třeba zajistit, aby bylo v betonu co nejméně pórů a vlhkosti), dále na vlhkosti prvku a okolí při působení dlouhodobého zatížení, způsobu jakým byl beton ošetřován během zrání, zralost prvku, velikosti, době trvání a času vnesení zatížení konstrukce. Čím více přesné výsledky dotvarování jsou požadovány, tím více vstupních parametrů musí být ve výpočtu zohledněno. Při uvažování dotvarování ve statickém výpočtu se uplatňují jeho účinky v kvazi-stálé kombinaci zatížení.

[25] [28]



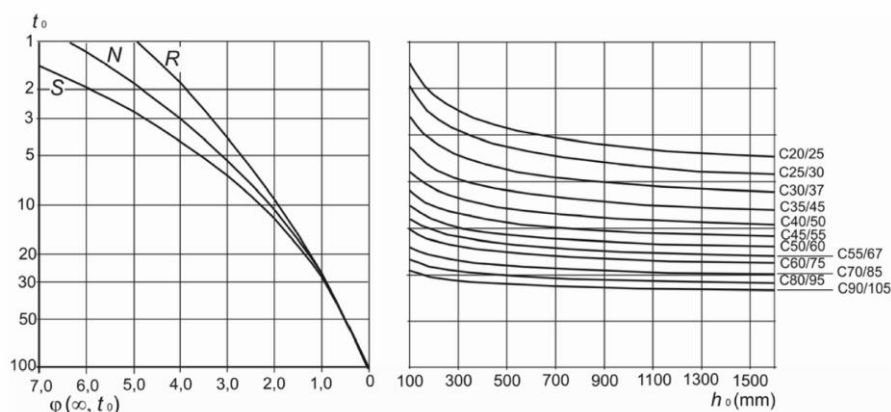
Obr. 5.4: Deformace betonu při dlouhodobém zatěžování [29]

Pro dotvarování betonové konstrukce způsobené dlouhodobým zatížením se celková deformace stanovuje za použití účinného modulu pružnosti betonu $E_{c,eff}$.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty; t_0)} \quad (5.4)$$

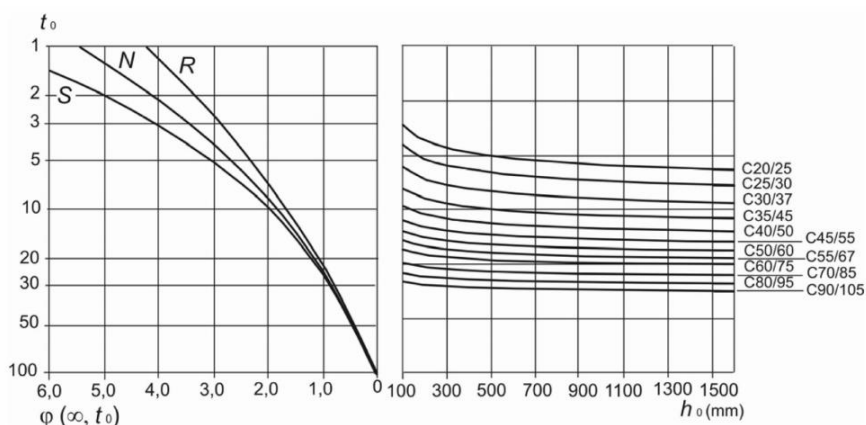
Pokud na prvek působí krátkodobě zatížení, tak nedochází k dotvarování ($\varphi = 0$). Pokud je uvažováno lineární dotvarování, u kterého je podmínkou, že v čase t_0 je betonový prvek namáhán napětím tlakovým nižším než $0,45 \cdot f_{ck}(t_0)$, tak součinitel dotvarování se získá z grafů (řešení u kterého není vyžadována vysoká přesnost). [25] [28]

a) Pro 50% vlhkosti prostředí



Obr. 5.5: Součinitel dotvarování (RH 50%) pro beton uložený v běžném prostředí [25]

b) Pro 80% vlhkosti prostředí



Obr. 5.6: Součinitel dotvarování (RH 80%) pro beton uložený v běžném prostředí [25]

Prvky napojené na nosnou konstrukci (skleněné výplně, obklady, dlažba, příčky, technické zařízení budovy) nesmí být ohroženy překročením hodnot deformace nosného systému. Deformace se musí udržovat na rozumných hodnotách pro správnou funkci strojních zařízení a předcházet na plochých střeších vzniku prohlubní a tím hromadění vody na střeše (snížení účinnosti či znemožnění odvádění vody). [25] EN 1992-1-1 čl. 7.4.1(3)

Vypočtený průhyb konstrukce (celkový průhyb konstrukce), který překročí hodnotu $1/250$ rozpětí při kvazi-stálém zatížení může ohrozit použitelnost a vzhled konstrukce. Jako opatření pro omezení průhybu celku, nebo části konstrukce se používá nadvýšení konstrukce při betonáži. Dále norma uvádí, že nadvýšení konstrukce bednění nemá překročit hodnotu $1/250$ délky rozpětí. [25] EN 1992-1-1 čl. 7.4.1(4)

Vyvolaný průhyb (přídavný průhyb) od kvazi-stálé kombinace zatížení po zabudování prvků do konstrukce u dokončené výstavby je omezen mezní hodnotou 1/500 délky rozpětí. [25] EN 1992-1-1 čl. 7.4.1(5)

5.3 Urychlování tvrdnutí betonu

Aby bylo možno monolitickou konstrukci co nejdříve odbednit, využívají se postupy UTB, které zkracují dobu výstavby. Urychlovací postupy se rozdělují na přímé a nepřímé. Přímé postupy ovlivňují počáteční růst pevnosti a působí dočasně. Nepřímé postupy ovlivňují počáteční i konečný růst pevnosti a působí trvale.

Ohříváním betonu patří k přímým postupům urychlování tvrdnutí, nepřímě se ovlivňuje urychlování tvrdnutí zvětšováním hutnosti betonu. Také použitím plastifikátorů, urychlovače tuhnutí, vakuování betonu, odstranění přebytečné vody a použití rychlovazných cementů jemně mletých také patří do UTB.

Předehřívání betonové směsi je ideální v rozmezí teplot 50 a 60°C. Vyšší teplota nad 65°C více zkracuje dobu tuhnutí, ale zhoršuje se zpracovatelnost směsi. Pokud je zahřáta směs betonu na 60°C a tvrdnoucí beton je ohříván na 80°C, tak za 3 hodiny dosáhne pevnosti 10 MPa. Zhutněnou betonovou směs je žádoucí ohřívát nízkotlakou nasycenou párou přímo, nebo nepřímě ohřívát bednění. Párou se ohřívá beton po 2 až 6 hodinách po uložení do bednění na 70 až 80°C a zároveň při ohřívání pára zvlhčuje beton. Propařováním po dobu 1 až 2 hodin získá beton cca 5 MPa pevnosti. Paření o délce 10 hodin je dostatečné k tomu, aby dílec nabyl své pevnosti, kterou získá za 28 dní za běžných podmínek tvrdnutí.

Ohřívání betonu s sebou nese negativní snížení jeho pevnosti, oproti běžnému neurychlenému zrání. Teploty od 50°C do 100°C způsobují pokles pevnosti o 5 až 15%, kompenzovat tuto ztrátu pevnosti je vhodné větší dávkou cementu do betonu. [30]

Výše popsany postup urychlování je převzat z technického průvodce vydaného roku 1986 [30], a je potřeba ho v současné výstavbě betonových konstrukcí brát s rezervou, protože při ohřívání vysokými teplotami beton zvětšuje svůj objem a následkem působícího tahového napětí se zevnitř potrhá. Zpožděná tvorba ettringitu (DEF) nastává u betonů, které byly v rané fázi propařovány teplotou nad 70°C. V praxi se upřednostňuje využití betonů s cementem, který má rychlý nárůst hydratačního tepla (cement s vysokou počáteční pevností), takové nosné

betonové konstrukce je možné odbednit již po 24 hodinách po uložení do bednění.
[prof. Štemberk, konzultace 13.5.2019]

Cementy s vysokou počáteční pevností jsou jemněji namlety v porovnání s běžnými cementy (běžně povrch cementu $3600 \text{ cm}^2/\text{g}$). Jemně namletý cement má větší reagující povrch zrn (okolo $7000 \text{ cm}^2/\text{g}$) a proto v kontaktu s vodou dříve zhydratuje (rychlý nárůst pevnosti). Čím má zrno cementu menší průměr, tím dříve zhydratuje. Velká zrna cementu nezhydratují úplně a proto vznikají ztráty nevyužitého potenciálu cementu. Příměsi, jako je například vysokopecní struska, přidávané do cementu snižují vývin hydratačního tepla, a proto zpomalují nárůst pevnosti betonu. Snížením vodního součinitele se také výrazně zrychluje nárůst počáteční pevnosti.

Tuhnutí betonu je také možno urychlit přidáním urychlovače tuhnutí chloridu vápenatého v množství 2 až 3 % (závisí na stupni vyztužení). Větší množství způsobuje korozi výztuže a znemožnění zpracovatelnosti vlivem rychlého ztuhnutí betonu. [15]

6. ZPŮSOB VÝSTAVBY A STATICKÉHO ŘEŠENÍ VYBRANÉ VYLOŽENÉ KONSTRUKCE

Hlavním cílem diplomové práce byl vlastní návrh nosné monolitické železobetonové konstrukce velkého vyložení. Inspirací pro navrhovanou konstrukci bylo komerční a kongresové centrum Trimaran. Řešený objekt bude sloužit jako kancelářské prostory. Na rozdíl od realizované stavby, kde bylo vyložení řešeno pomocí ocelové superkonstrukce, byl vlastní návrh proveden čistě ze železobetonu. Vykonzolování třech podlaží objektu bylo napojeno na podélný stěnový konstrukční systém železobetonové budovy. V jednotlivých podkapitolách byl popsán návrh tvaru vyložené konstrukce, postup stavby bednění a betonování jednotlivých pracovních záběrů. Návrh vyložené konstrukce o délce 15 metrů do prostoru byl ztížen skutečností, že se pod ní nachází vedlejší objekt o výšce 13,8 metrů kanceláří v plném provozu, aniž by nová vyložená konstrukce začínající ve výšce 18 m byla podepřena o střešní plášť té stávající.

6.1 Návrh tvaru vyložené konstrukce

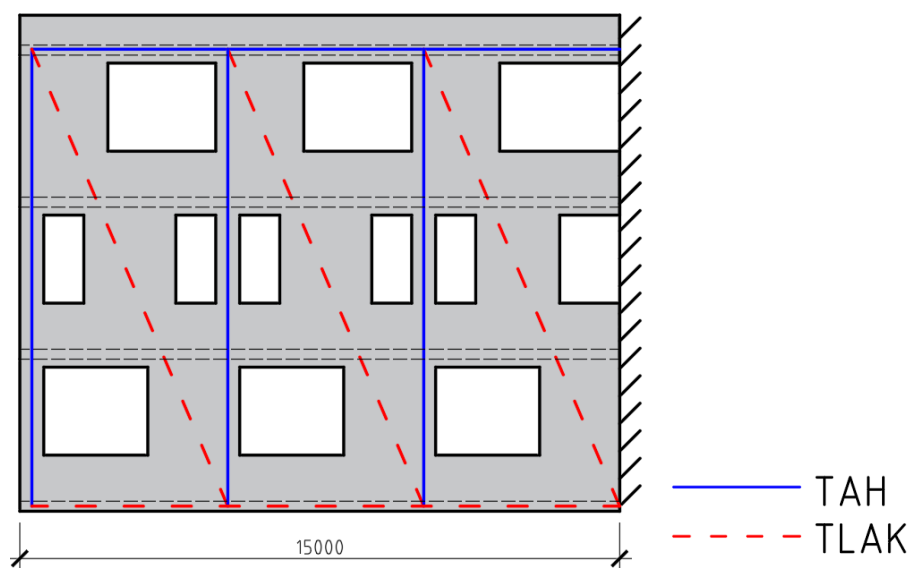
Půdorysné rozměry konstrukce vyložení jsou 15 x 15 metrů, konstrukční výška podlaží je 3,8 m. Navrženy byly rovné plné stropní desky o konstantní tloušťce 250 mm. Stěnové nosníky a parapetní nosníky jsou o tloušťce 250 mm. Objekt bude zateplen tepelnou izolací z exteriéru. Plochá střecha bude provedena jako jednoplášťová.

6.1.1 Tvar obvodových stěn

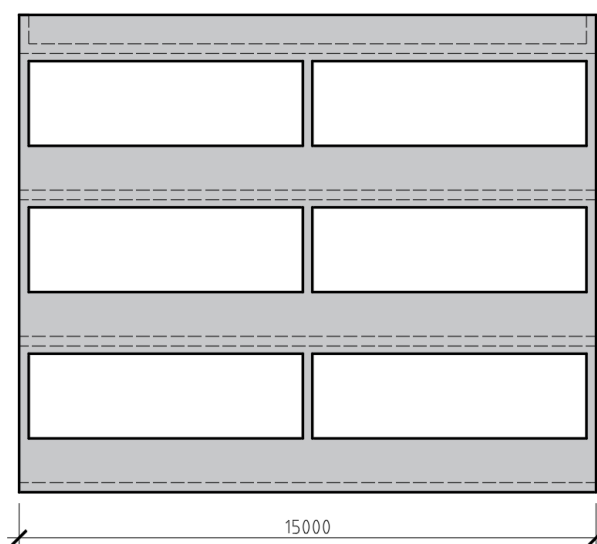
Požadavkem pro kancelářské prostory je co největší otevřenost obvodového pláště, respektive maximální plocha oken. Tvar a rozmístění okenních otvorů obvodových bočních stěn vychází z jednoduchého modelu náhradní příhradoviny (obrázek 6.1). Obvodové stěny a stěna uprostřed mají funkci stěnových nosníků a přenášejí veškerá zatížení do připojené konstrukce. Vykonzolované stěnové nosníky jsou namáhány smykem a ohybem. Mezi pruty náhradní příhradoviny byly navrženy otvory o maximální velikosti. Otvory pro okna byly rozšířeny o 10 milimetrů na všechny strany z důvodu dotvarování vyložené konstrukce a tím způsobené

deformace hran okenních otvorů ve tvaru obdélníku na kosodélník (obrázek 6.3). Tímto opatřením a uvažovanou tolerancí se předešlo následným problémům při osazení přesně vyrobených oken během výstavby.

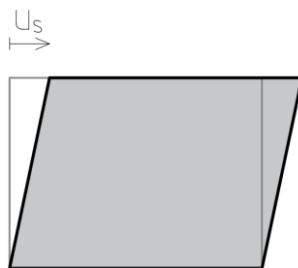
Na obrázku 6.2 je tvar čelní obvodové stěny, která má po celé délce dva okenní otvory přepažené stěnou uprostřed. Parapetní nosníky jsou podepřené trojicí stěnových nosníků, proto působí jako spojitý nosník o dvou polích.



Obr. 6.1: Model náhradní příhradoviny a tvar boční obvodové stěny



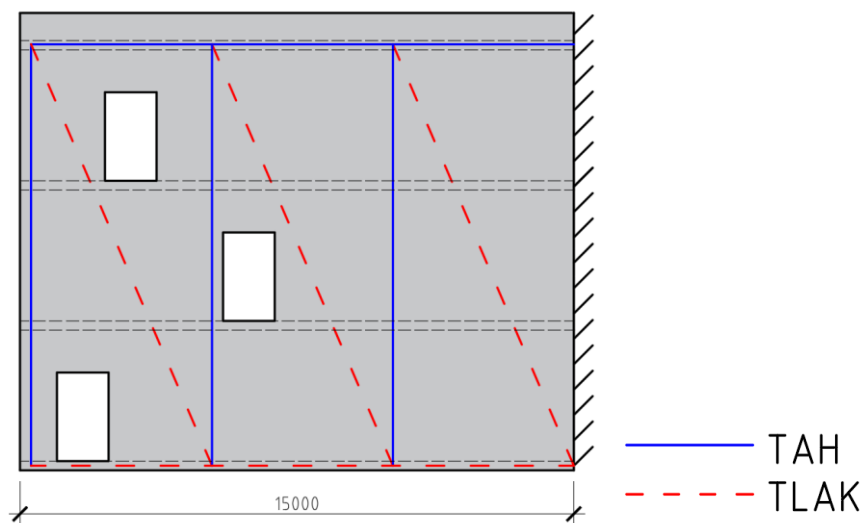
Obr. 6.2: Tvar čelní obvodové stěny



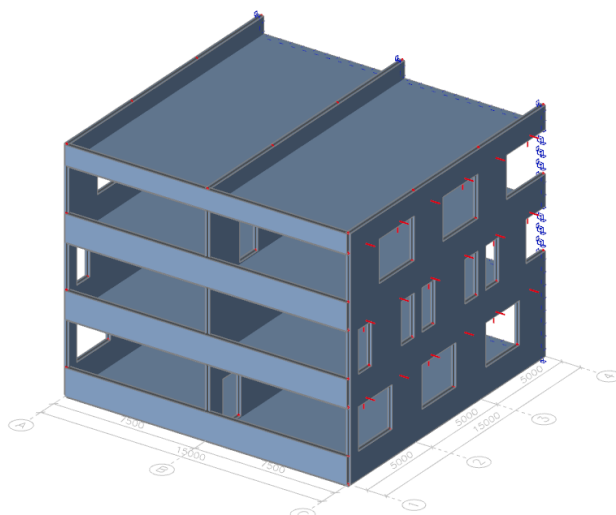
Obr. 6.3: Změna tvaru okenního otvoru vlivem dotvarování konstrukce

6.1.2 Tvar středové stěny

Vychází opět z jednoduchého modelu náhradní příhradoviny s tím rozdílem, že byla snaha stěnu zachovat co nejvíce plnou bez otvorů, z důvodu co největší únosnosti stěnového nosníku (obrázek 6.4). Otvory pro dveřní výplně byly rozšířeny o 10 milimetrů na všechny strany z důvodu dotvarování vyložené konstrukce a tím způsobené deformace hran dveřních otvorů ve tvaru obdélníku na kosodélník (obrázek 6.3). Pohled na 3D model konstrukce je na obrázku 6.5.



Obr. 6.4: Model náhradní příhradoviny středové stěny



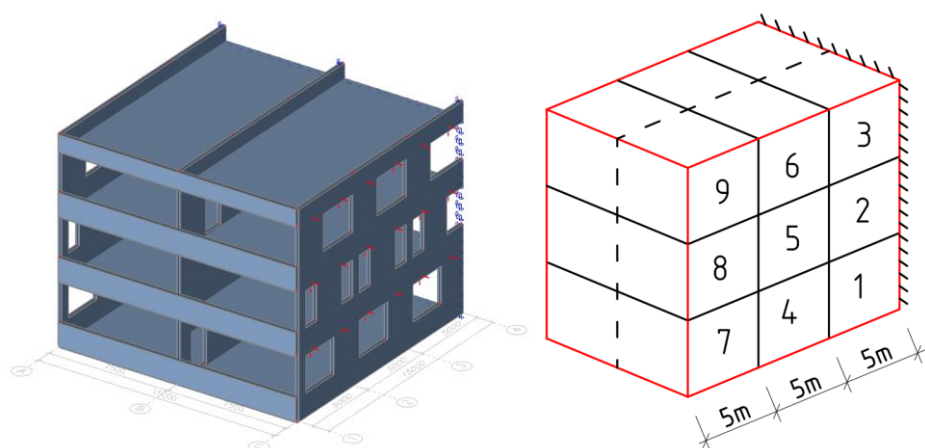
Obr. 6.5.: Řešená vyložená konstrukce vyložení 3D pohled

6.2 Postup výstavby vyložené konstrukce

Při výstavbě za použití betonu s vysokým počátečním nárůstem pevnosti trvá výstavba nosné konstrukce vyložení 22 dní, kdy se 22. den odbedňuje a konstrukce se nechává dočasně podepřena stavebními stojkami (zjednodušený harmonogram výstavby je součástí přílohy č. 1). Betonáž bude probíhat při průměrné teplotě 20 °C. Uložený beton v bednění bude hutněn pomocí vibrování a vakuování. Ošetřován po dobu zrání bude pomocí přikrytí navlhčenou geotextilií. Aby byla vyložená konstrukce provázaná (spojená) s hlavní budovou, tak musí být schopna přenést všechny smykové, tahové a tlakové napětí v napojení přes pracovní spáru. Zde je třeba nechat dostatečný počet hlavní nosné výztuže ke stykovaní všech stěn i stropů. Stykování betonářské výztuže bude provedeno minimálně na kotevní délku. Betonářská výztuž bude stykována ve všech pracovních spárách mezi jednotlivými záběry výstavby, čímž se zajistí spolupůsobení konstrukcí betonovaných s časovou prodlevou. Dále budou umístěny všechny rozvody elektroinstalace do stěn i stropních desek před samotnou betonáží.

Bednicí konstrukce byly navrženy převážně pomocí speciálního tunelového bednění, které v použité sestavě tvoří formu pro tři stěny a stropní desku. Tunelové bednění bude využito jako obrátkové v devíti záběrech betonáže vyložené konstrukce. Při betonáži se vždy postupuje odspodu nahoru. Každý záběr betonáže je délky 5 metrů vyložení. Již při betonování se bere v úvahu dotvarování vyložené konstrukce, a proto se staví bednění a následně betonuje s nadvýšením. Celková

délka 15 metrů vyložení se nadvyšuje o 14 milimetrů. Každý záběr je tedy nadvýšen o 5 milimetrů. Předností tunelového bednění je na této řešené stavbě možnost jeho zasunutí dovnitř konstrukce a opření o konstrukci stropu, vysoká kvalita povrchu betonu, který v interiéru není potřeba omítat a snadná manipulace velkých bednicích prvků v kuse pomocí jeřábu.



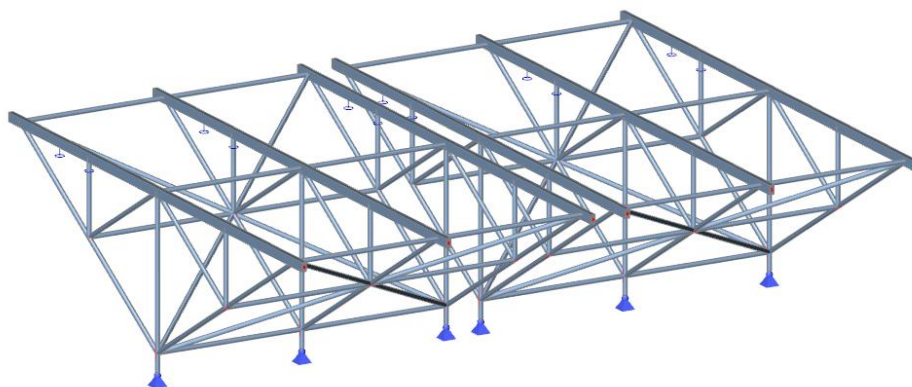
Obr. 6.6: Jednotlivé záběry výstavby vyložené konstrukce

Rámového bednění bude využito pro betonáž spodních desek záběrů 1, 4 a 7. Rámové bednění v horizontální rovině bude v záběru 1 postaveno na ocelovou rektifikovatelnou podpěrnou konstrukci. V záběrech 4 a 7 bude rámové bednění zavěšeno pomocí závěsných lan. Na betonáž atiky na střešní desce a parapetních nosníků v čelní obvodové stěně bude opět použito rámové bednění. Při výstavbě všech záběrů bednění je požadována součinnost geodeta na stavbě. V průběhu výstavby budou měřeny a zaznamenávány všechny posuny konstrukce, všechna data z měření budou průběžně předávána statikovi, který navrhne případná opatření.

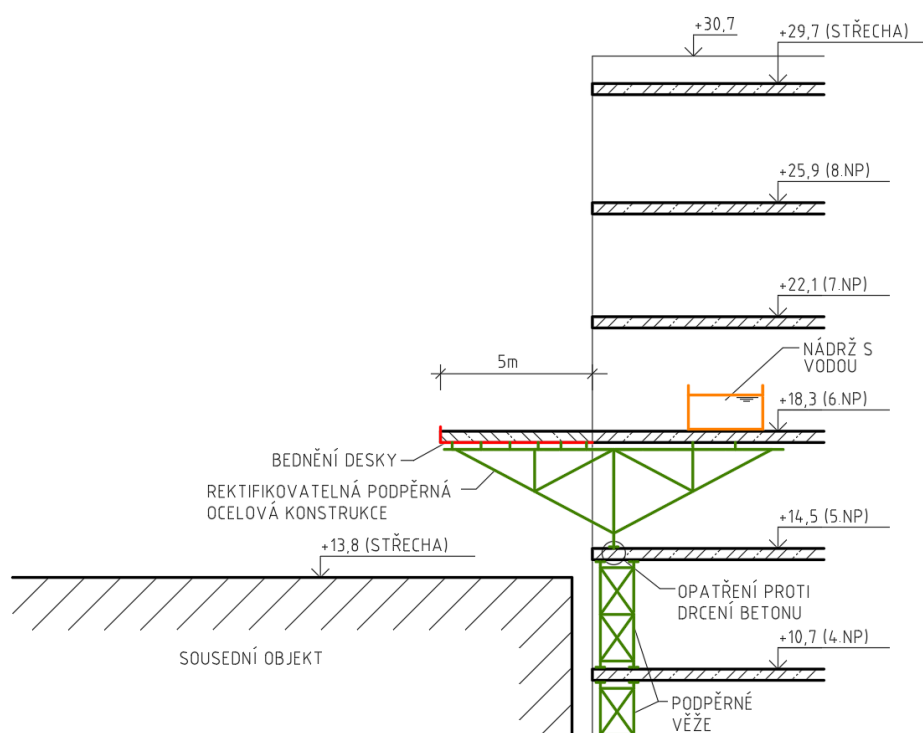
ZÁBĚR 1

Výstavba konstrukce v prvním záběru začíná uložením dvou kusů podpěrné rektifikovatelné ocelové konstrukce pomocí jeřábu dovnitř konstrukce (OK zobrazena na obrázku 6.7). Tyto podpěrné konstrukce se používají převážně v zahraničí, vlastní návrh podpěrné konstrukce byl inspirován používanými konstrukcemi. Spodní vrchol OK je ve výškové úrovni 14,5 metrů nad terénem (5.NP). Ocelová konstrukce umožňuje výškové nastavení pomocí závitů ve stojce. Pod tuto podpěrnou konstrukci se postaví do všech pater podpěrné věže a tím se roznese tlakové zatížení z výstavby do podloží. Stropní deska ve výškové úrovni 18,3 m se zatíží nádržemi

s vodou, tím se zabrání deformacím betonové desky. Na horní hranu OK se z pravé strany umístí dva dřevěné trámy průřezu obdélník 100 x 180 mm, které se zapřou o stropní konstrukci. Na levou konzolovou část OK se pomocí jeřábu zdvihne a horizontálně uloží rámové bednění spodní desky. Toto bednění bude složeno na zemi pomocí spojek v jednu tabuli o rozměru 5,4 x 15,3 metrů. Bednění se zafixuje k OK a po obvodě bednění se ukotví konstrukce zábradlí. Čela bednění budou postavena pouze na obou protilehlých hranách. Deska bude rozšířena na obě strany o 150 mm pro další krok - umožnění opření krajního stěnového dílce tunelového bednění (obrázek 6.8).



Obr. 6.7: Dvojice navržené ocelové podpěrné konstrukce

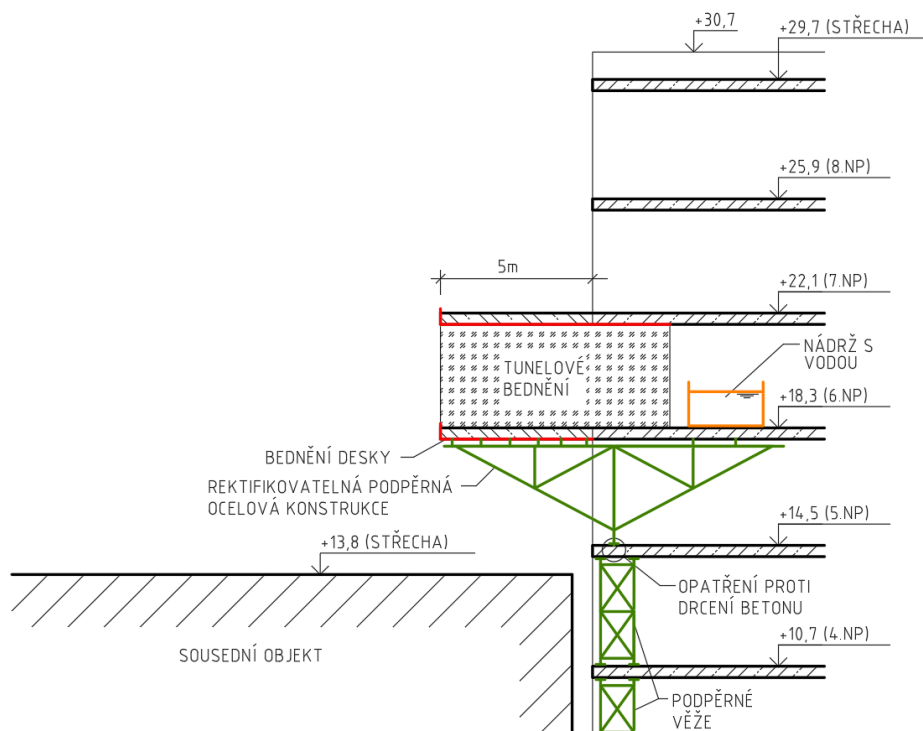


Obr. 6.8: Schéma provedení desky v 1. záběru výstavby vyložené konstrukce

Do takto připraveného bednění bude osazena armatura desky a stykováním napojena na vytaženou výztuž stropní desky již postavené konstrukce objektu. V místě budoucích stěn bude výztuž vytažena vertikálně z desky. Na přední hraně bednění, která bude jediná nezabedněná, bude vytažena hlavní nosná výztuž desky o kotevní délku za hranu 1. záběru. Výztuž v tomto místě musí být vytažena minimálně o kotevní délku ven z bednění. Aby betonová směs nevytekla z bednění, tak bude tato hrana zabedněna pomocí tahokovu, kterým se protáhne výztuž a pomocí vázacího drátu se přiváže k výztuži (z vrchu hodní výztuže desky se vázacím drátem přiváže pomocný dřevěný hranol).

Dalším krokem je čerpání čerstvého betonu pomocí mobilního čerpadla do připraveného bednění. Na vybetonované desce budou dobetonovány 3 vodící sokly do tesařského bednění v šířce stěn na jejich pozicích a výšce 100 mm. Vodící sokly slouží k zabránění protékání betonu zespod tunelového bednění a umožňují bednění, které se před betonáží zdvihne, poté spustit a vysunout z konstrukce. Beton desky se nechá do dalšího dne zrátn. Druhý den se na betonovou desku, která je schopna přenášet montážní zatížení, za pomoci jeřábu postaví sestava tunelového bednění, která se zasune 2,5 metru do hotové konstrukce. Tunelové bednění se bude částečně opírat o strop, což napomáhá menšímu namáhání vyložené OK podpěrné konstrukce. Z fasádní strany budou stěnové dílce postaveny v nejnižších záběrech (1, 4, 7) na přesahy betonové desky. Protilehlé stěnové panely tunelového bednění budou sepnuty spínacími tyčemi, které stabilizují fasádní panel. Do stěn tunelového bednění se osadí potřebná výztuž a také se tam vloží předpřipravené překližkové bednění pro okenní otvory. Výztuží se opatří i deska a opět se musí napojit stykováním k vystavěnému objektu. V desce bude osazeno překližkové bednění pro instalační šachty a jiné prostupy. Na opačné straně se zabední vytažená výztuž stěn i desky tahokovem. Takto připravené tunelové bednění se zabetonuje. Opět se na vrchu desky vytvoří tři vodící sokly o výšce 100 mm do tesařského bednění (obrázek 6.9). Odbednění tunelového bednění proběhne po dvou dnech od betonáže. Bednění se spustí z nožiček a na kolečkách za pomoci jeřábu a asymetrického závěsu (označovaného jako kachní zobák) bude vysunuto tunelové bednění z konstrukce a bednění dočasně uloženo na terén k jeho následnému očištění a naolejování (vysouvání bednění pomocí závěsu a výsuvné konzoly je patrné z obrázku 4.9). Okamžitě po vyjmutí tunelového bednění bude stropní

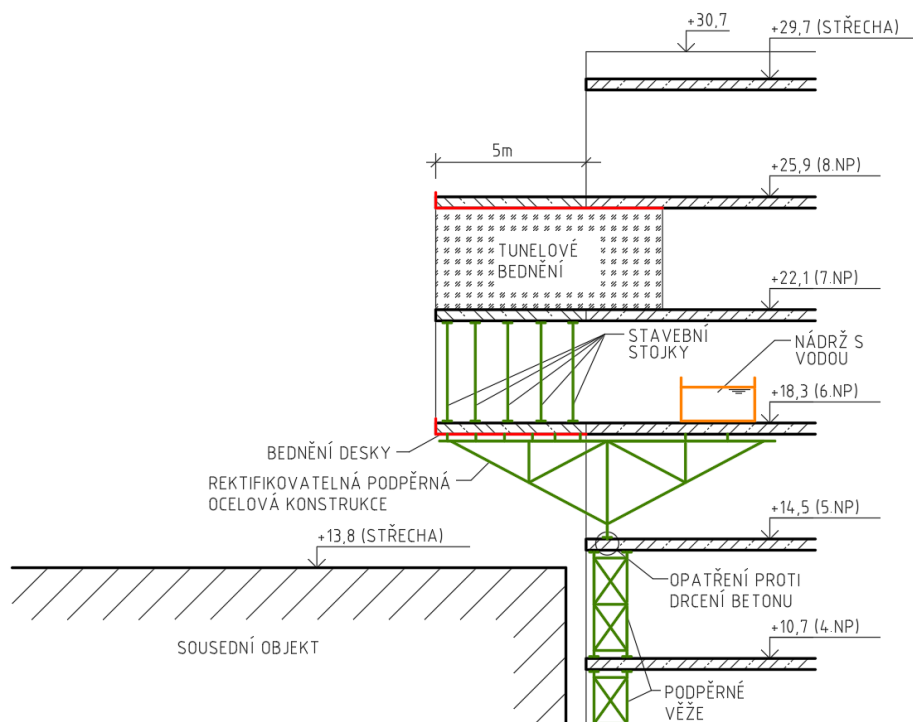
konstrukce podepřena stavebními stojkami uprostřed rozpětí desky, aby se zamezilo průhybům a dotvarování stropní desky.



Obr. 6.9: Schéma 1. záběru výstavby vyložené konstrukce

ZÁBĚR 2

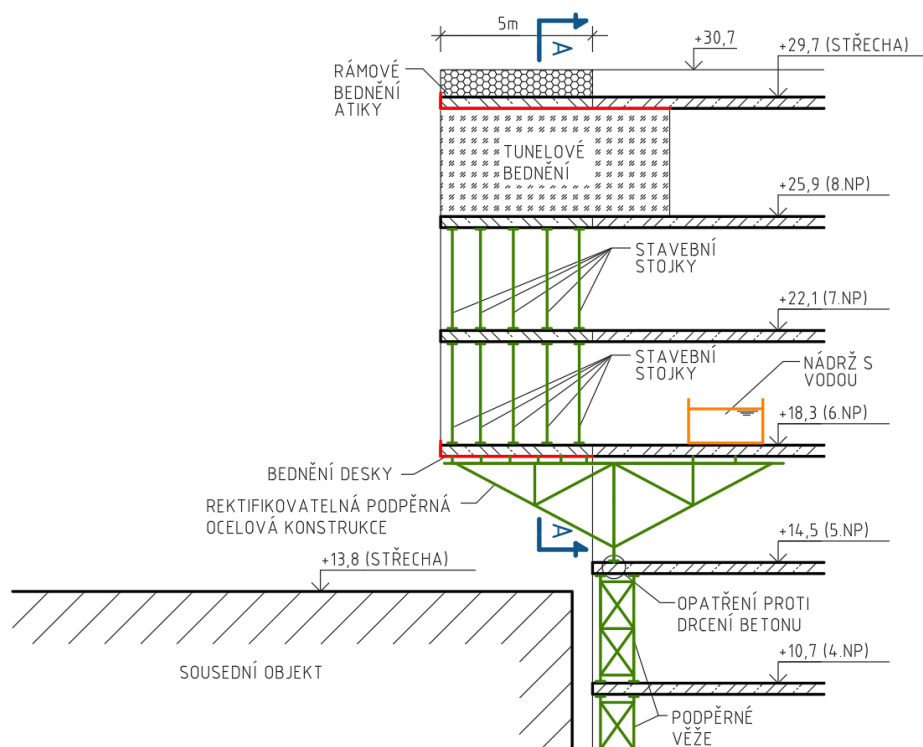
Druhý záběr začíná 4. den od začátku výstavby. Tunelové bednění bude položeno pomocí jeřábu na stropní desku 1. záběru. Bednění se vsune dovnitř konstrukce 2,5 metru, viz schéma (obrázek 6.10). Stěnové dílce bednění z fasádní strany obvodových stěn se postaví na závěsnou podpěrnou konzoli, která se upevní pomocí spínacích tyčí do štítových stěn z 1. záběru (závěsné konzoly jsou ukázány na obrázku řezu 6.12). Otvory pro spínací tyče je možné do stěn vyvrtat, nebo použít otvory v konstrukci po sepnutí bednění. Další postup je stejný jako v předchozím záběru – armování, betonování, odbedňování po 2 dnech a podepření stropní konstrukce stavebními stojkami.



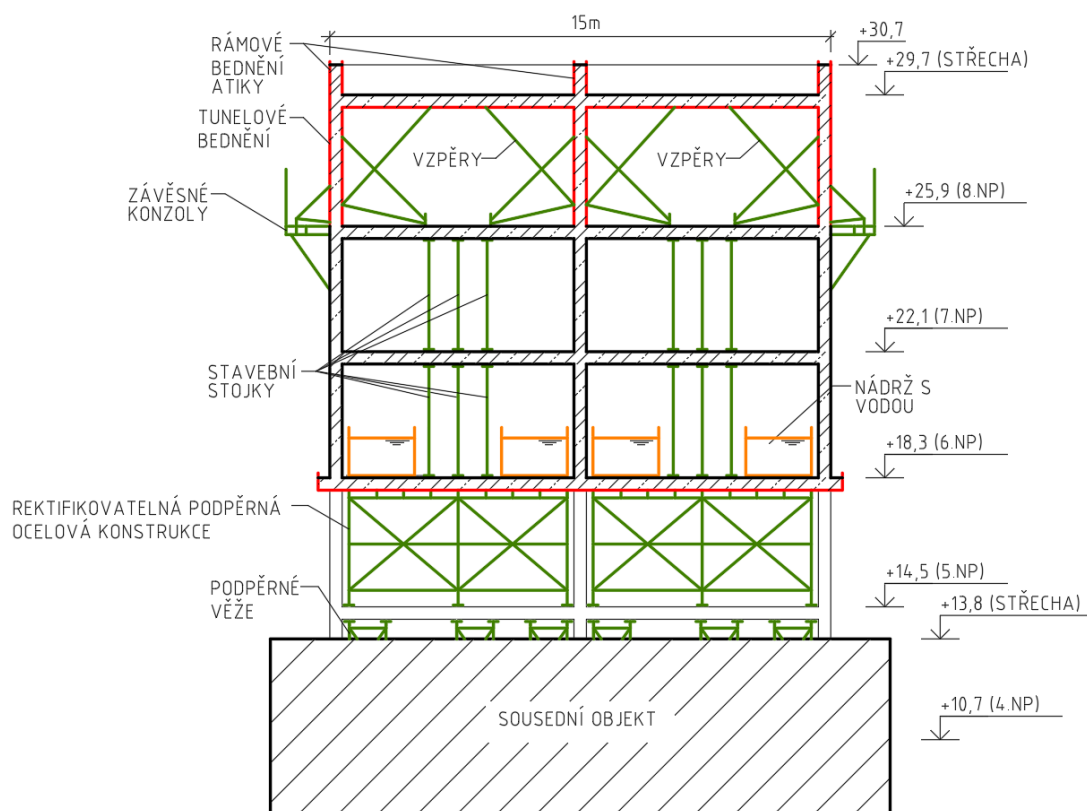
Obr. 6.10: Schéma 2. záběru výstavby vyložené konstrukce

ZÁBĚR 3

Třetí záběr začíná 6. den a má stejný technologický postup jako záběr 2, s tím rozdílem, že na střešní desku bude provedeno rámové bednění pro betonáž atiky o výšce 1000 mm. Opět dojde po 2 dnech k odbednění tunelového bednění, rámového bednění a podepření stropu vybetonované konstrukce stavebními stojkami (obrázky 6.11, 6.12).



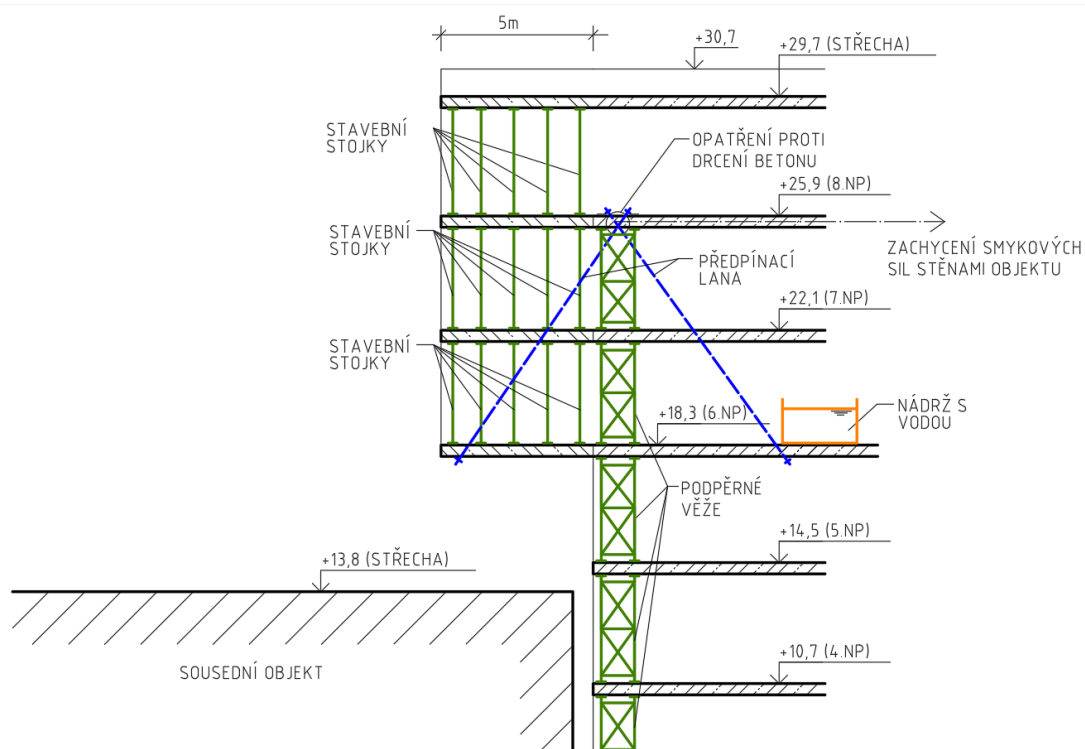
Obr. 6.11: Schéma 3. záběru výstavby vyložené konstrukce



Obr. 6.12: Schématický řez 3. záběru výstavby vyložené konstrukce

ZÁBĚR 4

Záběr 4 začíná 8. den přidáním podpěrných věží do 5.NP, 6.NP a 7.NP. Aby konstrukce byla schopna přenést všechna zatížení během výstavby, tak je nutné ji vhodně předepnout. Osazení předpínacích lan spočívá ve vyvrtání šesti jádrových vrtů o průměru 150 mm do tří desek a protažení předpínacích lan o počtu šesti kusů těmito otvory – každé lano má pasivní kotvu na spodním konci lana, která je 500 mm od kraje desky. Na horním konci se pomocí aktivní kotvy vnáší do konstrukce předpětí. Dalších 6 lan se použije pro předepnutí konstrukce z druhé strany, aby byla zachycena část smykových sil, zbytek zachytí podélné stěny objektu (obrázek 6.13). Během předpínání budou na stropní konstrukci postaveny nádrže s vodou, které konstrukci zatíží a zamezí jejím deformacím. Všechny desky, do kterých se budou kotvit předpínací lana, byly navrženy s opatřením proti drcení betonu. Deska v úrovni 18,3 metrů se vyztuží na ohyb a také na namáhání tlakovou silou (při předepnutí se chová jako stěnová konstrukce).

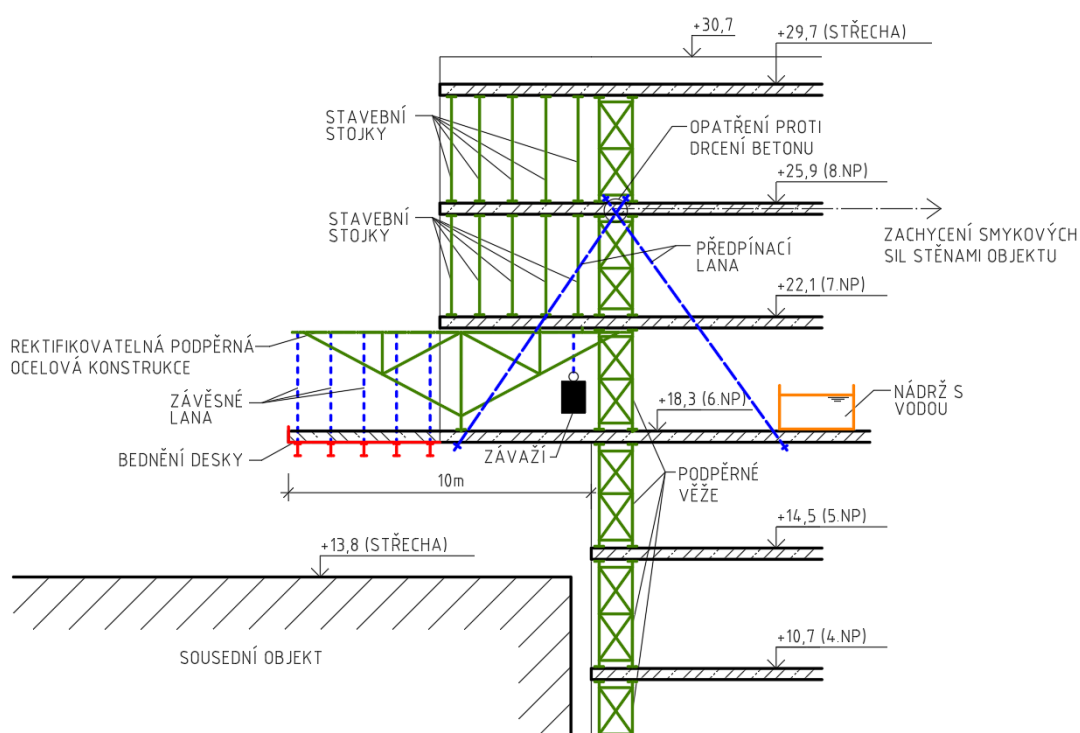


Obr. 6.13: Schéma osazení lan do konstrukce před 4. záběrem

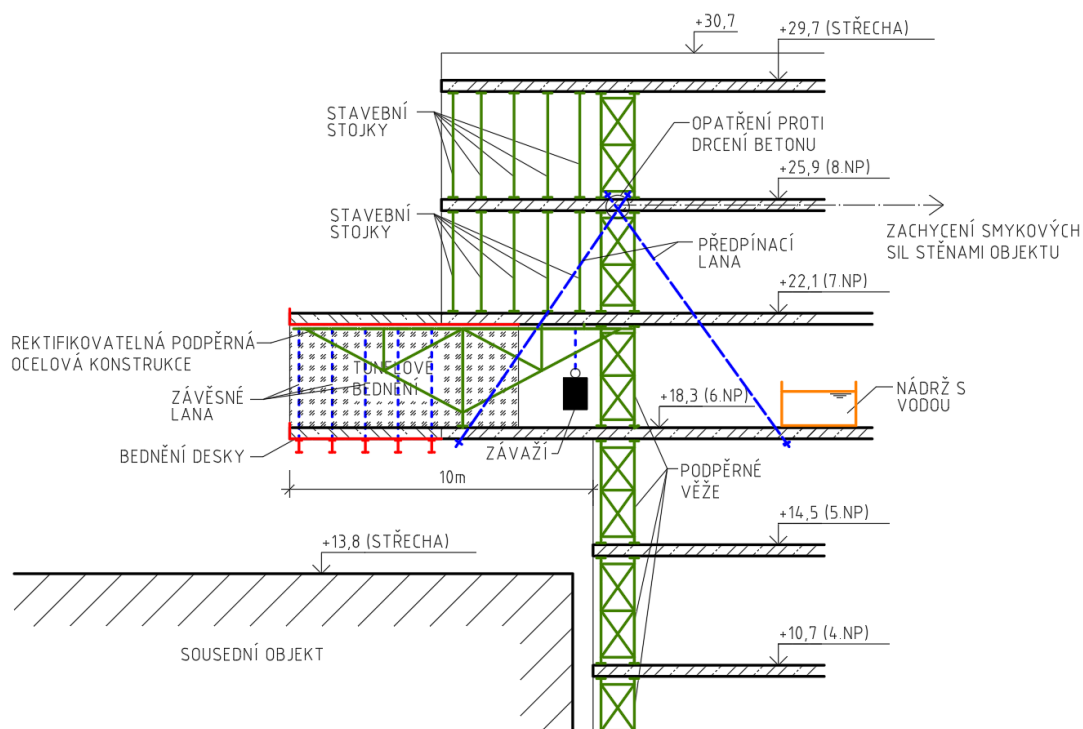
Stavební stojky z 1. záběru se odstraní. Pomocí jeřábu se do konstrukce 6. NP osadí podpěrná rektifikovatelná ocelové konstrukce. Horní profily OK vpravo se ukotví ke stropní konstrukci proti případnému překlopení OK. Na horní profily podpěrných rektifikovatelných OK vlevo se zavěsí závěsná lana, na která se uchytí

systémové rámové bednění pro betonáž desky. Na pravé rameno OK se pověsí závaží. Je potřeba, aby byla v průběhu výstavby podpěrná konstrukce vyvažována, protože se při velkém rozdílu výsledných sil (momentů) na obou koncích začne chovat jako houpačka. Předpínací síla v lanech bude během výstavby dalších záběrů regulována podle statického výpočtu. Pomocné závaží na konstrukci během výstavby bude přidáváno podle doporučení statika.

Do připraveného bednění se vloží výztuž desky a pomocí mobilního čerpadla se deska zabetonuje a beton řádně zhutní. Betonovaná deska bude rozšířena o 150 milimetrů na obě strany, aby bylo možné osadit krajní bednicí dílec stěny z fasádní strany. Na desku se také vybetonují vodící sokly a další den, až bude deska dostatečně únosná, se na ní postaví tunelové bednění (obrázek 6.14). Tunelové bednění se zastrčí do konstrukce 1. záběru 2,5 metru. Do tunelového bednění se vloží výztuž, bednění okenních otvorů, bednění prostupů v desce a rozvody elektroinstalace. Po vybetonování a zhutnění betonu v tunelovém bednění se na desce vytvoří vodící sokly (obrázek 6.15).



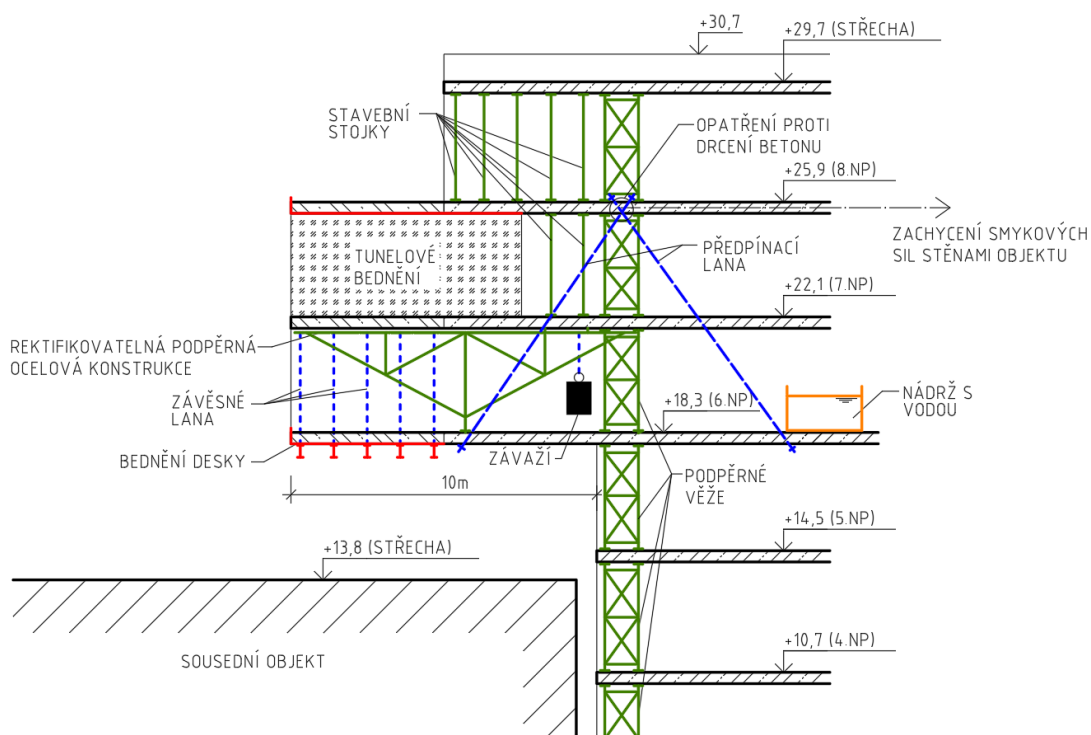
Obr. 6.14: Schéma betonování spodní desky 4. záběru výstavby vyložené konstrukce



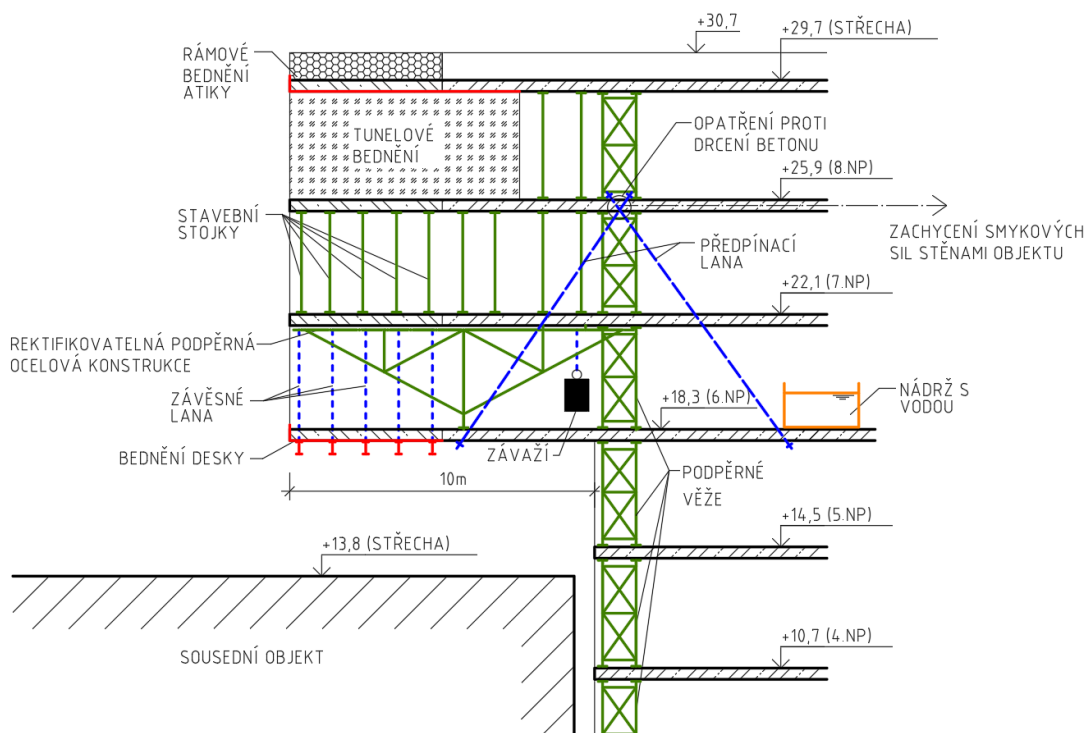
Obr. 6.15: Schéma 4. záběru výstavby vyložené konstrukce

ZÁBĚR 5, 6

Záběr 5 (obrázek 6.15) a záběr 6 (obrázek 6.16) mají stejný pracovní postup jako záběry 2 a 3, a proto se jejich výstavba provede stejně. Záběr 5 začíná 11. den od začátku výstavby.



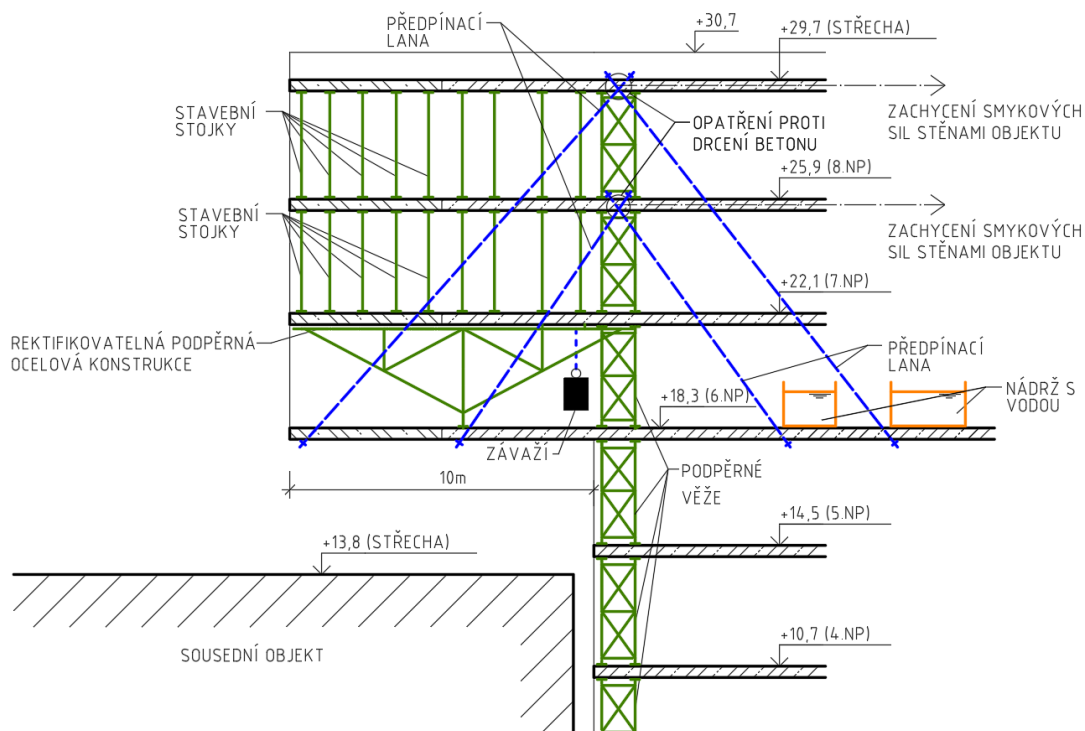
Obr. 6.15: Schéma 5. záběru výstavby vyložené konstrukce



Obr. 6.16: Schéma 6. záběru výstavby vyložené konstrukce

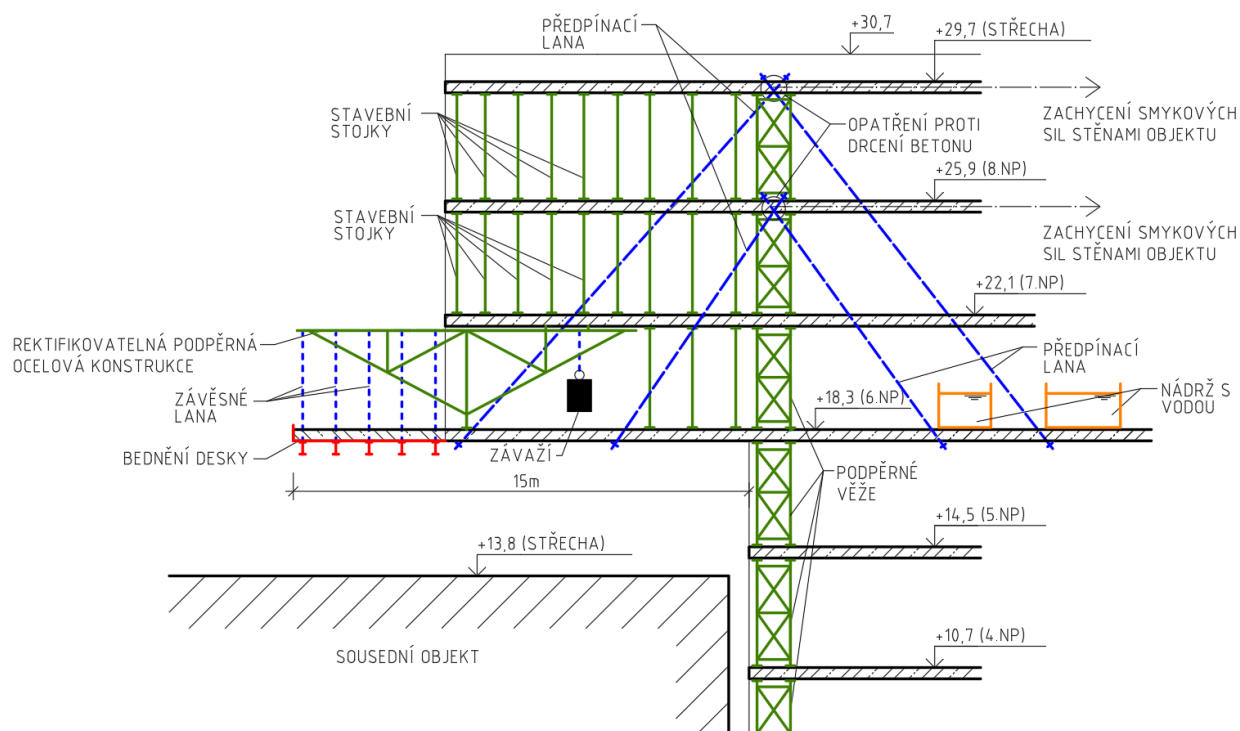
ZÁBĚR 7

V záběru číslo 7 se začne tím, že se osadí další předpínací lana do konstrukce. Jako v záběru 4 se provedou otvory do desek a celkem se přidá 12 nových předpínacích lan (6 na levou a 6 na pravou stranu). Pravá strana desky v 6.NP se zatíží nádržemi s vodou u paty kotvy lana. Smykové síly, které vzniknou během výstavby, přenesou podélný stěnový systém budovy (obrázek 6.17).

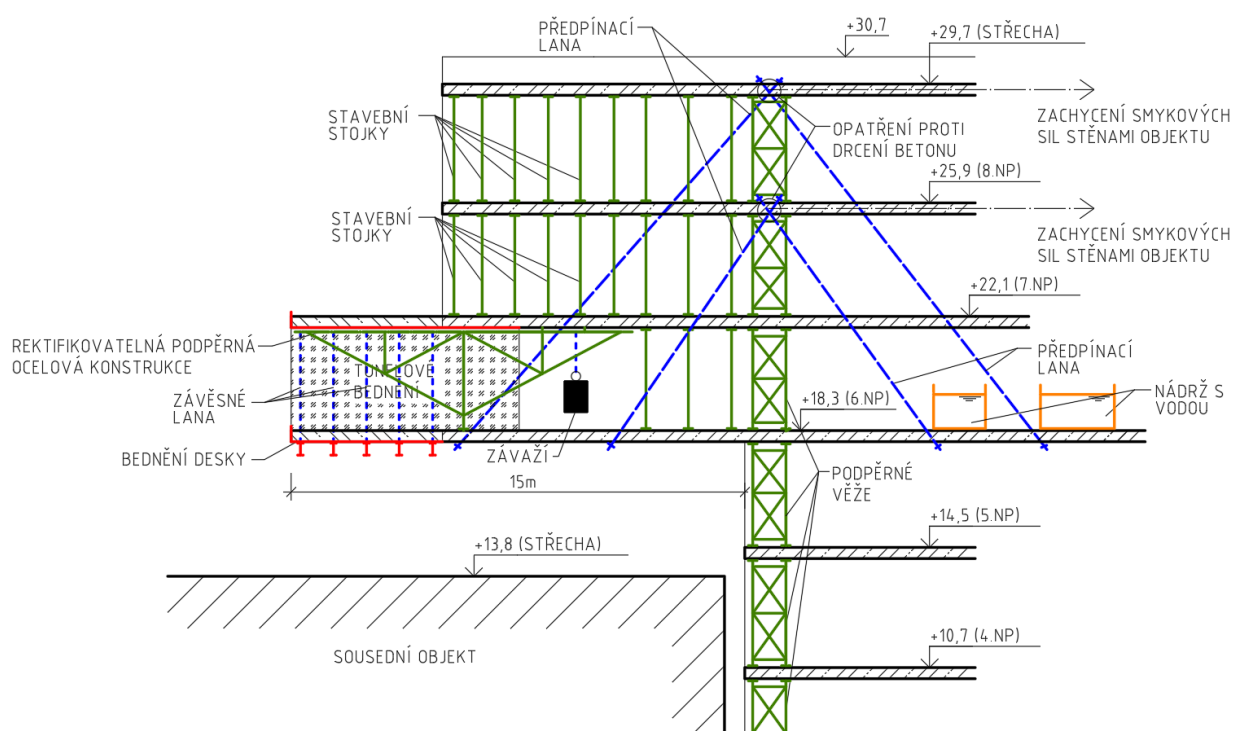


Obr. 6.17: Schéma osazení lan do konstrukce před 7. záběrem

Poté se přesune podpěrná ocelová rektifikovatelná konstrukce o 5 metrů doleva na vybetonovanou spodní desku záběru 4. Na pravý konec podpěrné OK se zavěsí závaží, z důvodu stability. Z levé strany bude stropní deska zatížena nádrží s vodou poblíž místa uchycení předpínacího lana. Na horní profily podpěrné ocelové konstrukce se zavěsí závěsná lana, na která se uchytí v horizontální poloze rámové bednění pro betonáž desky. Do takto připravené konstrukce bednění se vloží výztuž desky s vytažením o kotevní délku do stěn. Do bednění se uloží beton, který se zhutní vibrováním a vakuováním, ošetřování betonu bude formou přikrytí desky navlhčenou geotextilií. (obrázek 6.18).



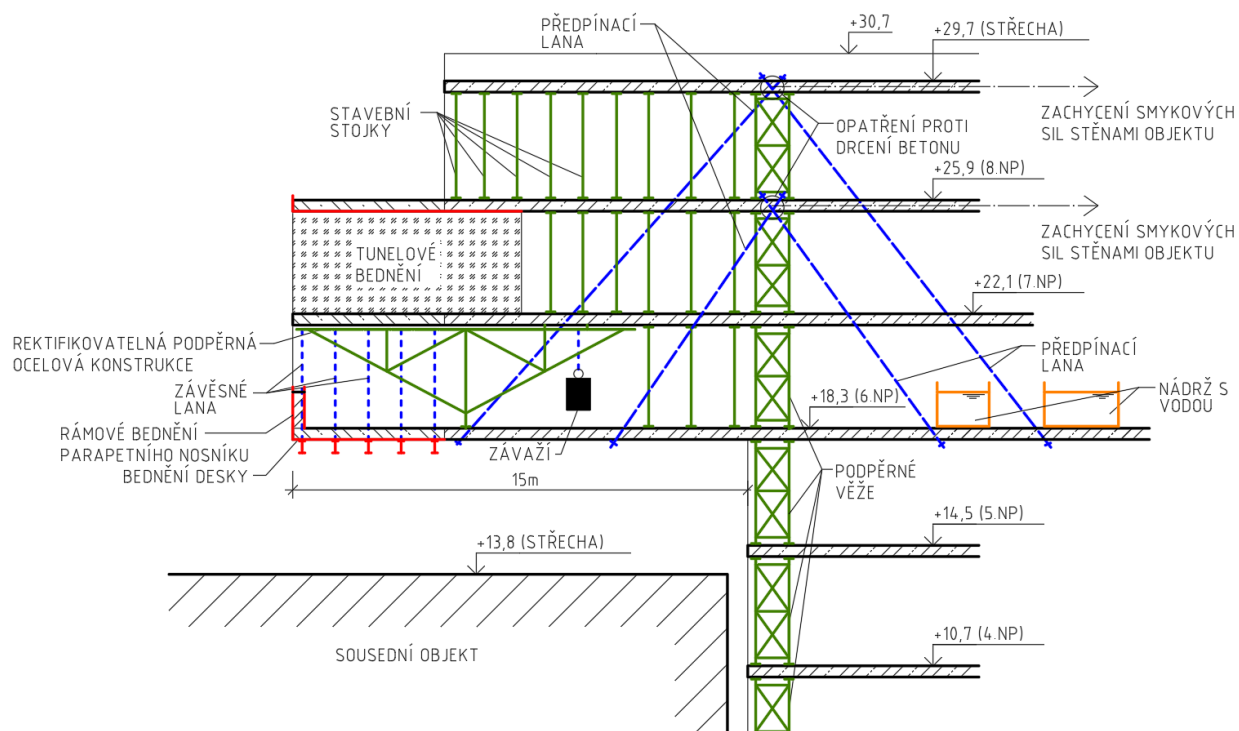
Obr. 6.18: Schéma betonování spodní desky 7. záběru výstavby vyložené konstrukce



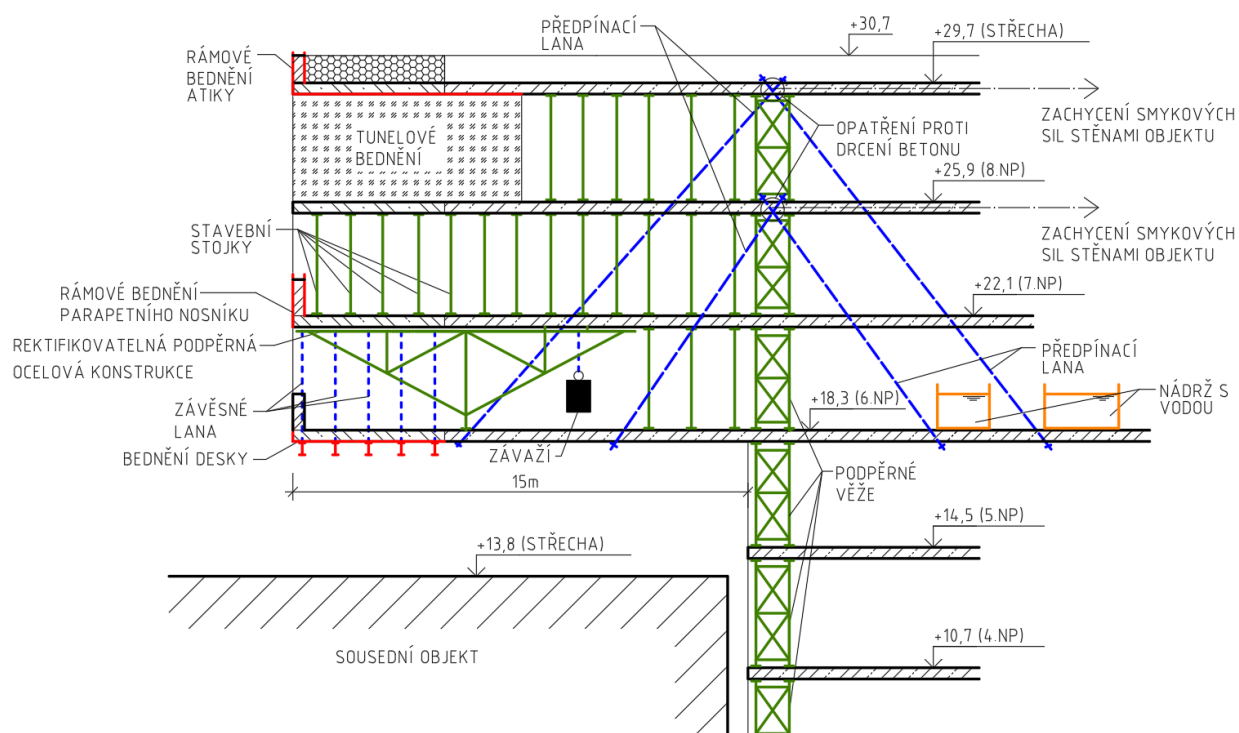
Obr. 6.19: Schéma 7. záběru výstavby vyložené konstrukce

ZÁBĚR 8, 9

Záběr 8 (obrázek 6.20) a záběr 9 (obrázek 6.20) mají stejný pracovní postup jako záběry 2 a 3, a proto se provedou stejně za použití tunelového bednění. K vybednění parapetních nosníků se použije systémové rámové bednění. Betonáž parapetních nosníků bude probíhat až po vysunutí tunelového bednění.

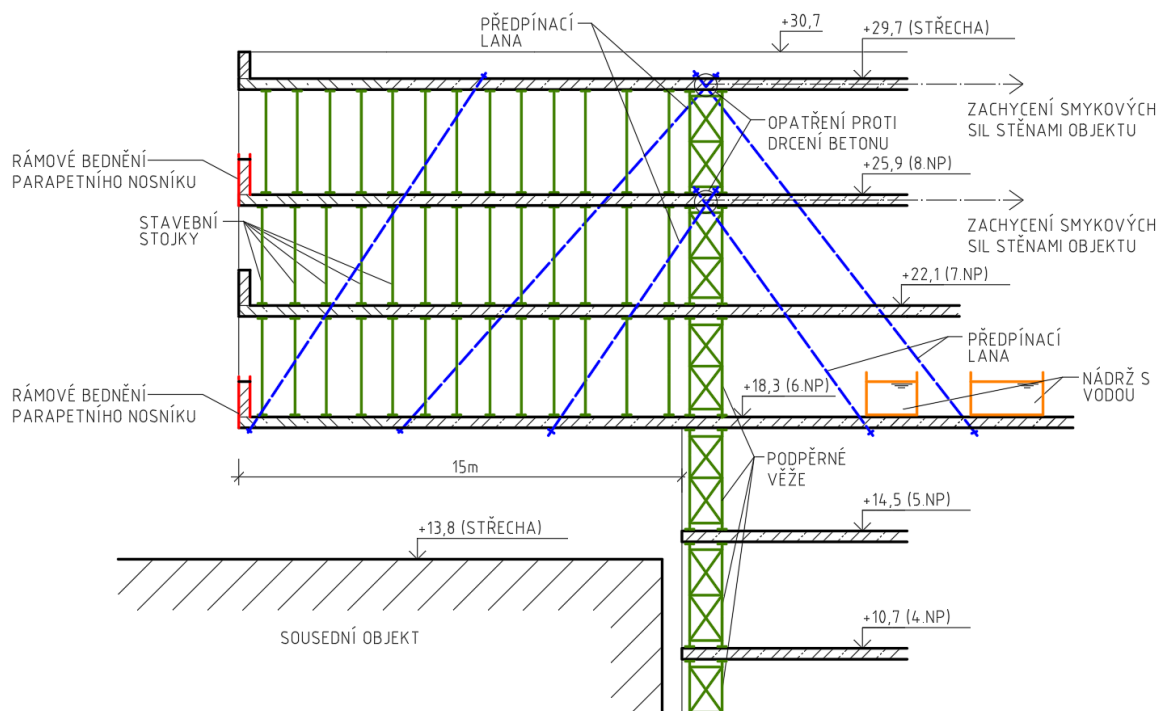


Obr. 6.20: Schéma 8. záběru výstavby vyložené konstrukce



Obr. 6.21: Schéma 9. záběru výstavby vyložené konstrukce

Na závěr se z konstrukce odbední spodní deska a vyndají se podpěrné OK. Tunelové bednění se odbední a vysune ven z konstrukce, stropní desky se podepřou stavebními stojkami. Konstrukce se předepne dalšími 6 kusy předpínacích lan tvořícími taženou diagonálu (obrázek 6.22). Po technologické přestávce se předepnutí konstrukce povolí a odstraní se předpínací lana, stavební stojky, podpěrné věže a nádrže s vodou. Otvory po jádrových vrtech, kterými procházely trasy předpínacích lan, se zalijí betonem.



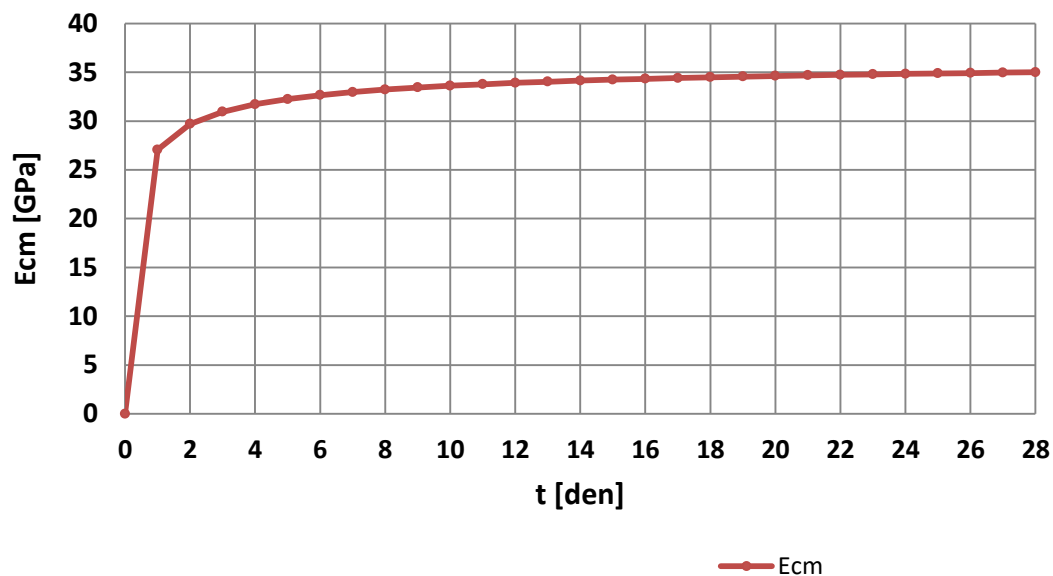
Obr. 6.22: Schéma závěrečné fáze výstavby vyložené konstrukce

6.3 Výpočetní model

Výpočet byl proveden v softwaru SCIA Engineer 18.1, kde byla modelována pouze konstrukce vyložené části budovy. Ve výpočetním modelu bylo použito vetknutí vyložené konstrukce k objektu.

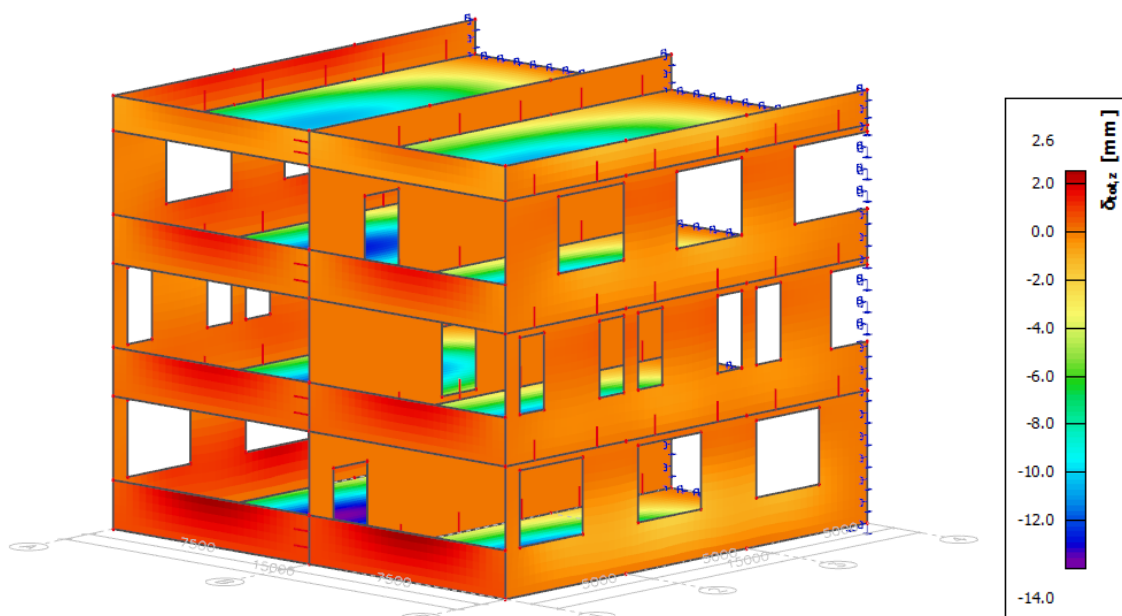
Navržená konstrukce bude vybetonována směsí betonu, který dosahuje pevnosti po 28 zrání 70 MPa. Tato směs obsahuje cement s rychlým nárůstem pevnosti. Po 24 hodinách zrání při teplotě +20°C dosahuje tento beton pevnosti minimálně 50 MPa a proto je možné konstrukci odbednit již 2. den od betonáže. [prof. Štemberk, konzultace 13.5.2019]

Do výpočetního modelu byl použit podhodnocený beton třídy C40/50, aby byl návrh na straně bezpečné. Graf 1 znázorňuje vývoj modulu pružnosti betonu C40/50, $s=0,2$, $E_{cm}=35\text{GPa}$, $f_{cm}=48\text{MPa}$.

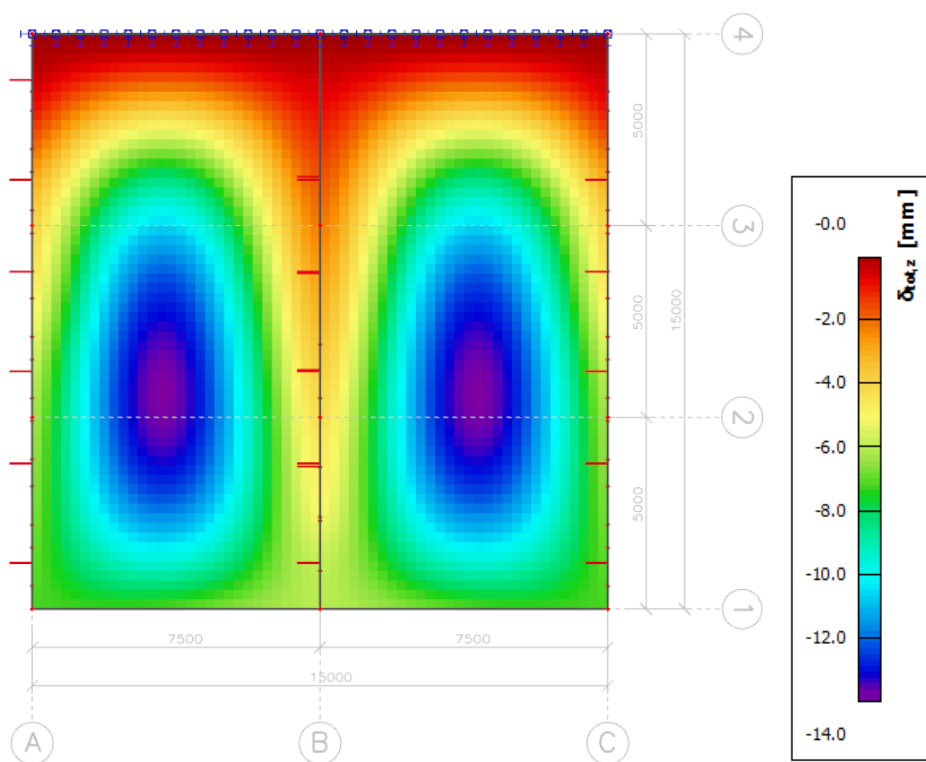


Graf 1: Vývoj modulu pružnosti betonu C40/50

Lineární průhyb konstrukce byl vypočten pomocí programu SCIA Engineer, kde byl zohledněn vliv dotvarování betonu (normově závislý průhyb). V programu byla při výpočtu použita nutná výztuž. Průhyby jsou zobrazeny na obrázku 6.23 a 6.24 pro kvazistálou kombinaci zatížení. Součinitel dotvarování byl v programu dopočten automaticky.



Obr. 6.23: Celkový dlouhodobý průhyb zohledňující dotvarování a trhliny



Obr. 6.24 Celkový dlouhodobý průhyb zohledňující dotvarování a trhliny spodní stropní desky

ZÁVĚR

Tato práce se v první části zabývala realizovanými konstrukcemi velkého vyložení a na příkladech tuzemských a zahraničních staveb byla provedena analýza jejich statického systému a způsobu provedení.

Teoretické části diplomové práce byla věnována technologii výstavby železobetonových monolitických konstrukcí. Provedena byla rešerše týkající se provádění podpěrných a bednicích konstrukcí, která napomohla k řešení návrhu technologického provedení konstrukce velkého vyložení v kapitole 6. Práce se rovněž zaměřila na ošetřování betonu a vývoj vlastností betonu vlivem jeho stáří. Pozornost byla také věnována dotvarování betonových konstrukcí a urychlování jejich výstavby.

V praktické části diplomové práce byl navržen tvar a záběry výstavby konstrukce velkého vyložení. Byl popsán postup výstavby, který byl doplněn schematickými obrázky. Doba výstavby byla stanovena na 22 dní, díky urychlení výstavby použitím betonu s rychlým nárůstem pevnosti. Navržené řešení konstrukce velkého vyložení ukázalo, že je možné provádět monolitické železobetonové vyložené konstrukce bez nutnosti podepření konstrukce bednění během výstavby z terénu nebo sousedního objektu.

Na základě navrženého tvaru vyložené konstrukce byl proveden výpočetní model konstrukce v provozu. Výstupem ze statického softwaru bylo stanoveno, kolik má být konstrukce velkého vyložení při výstavbě nadvýšena.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Beton TKS: Technologie betonu. 2007, 2007(5). ISSN 12133116.
- [2] Concrete Cantilever House Extends 32 Feet Over the Pool [online]. In: . [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: <https://cdn.trendir.com/wp-content/uploads/old/house-design/2015/10/08/concrete-cantilever-house-clavel-arquitectos-1.jpg>
- [3] Trimaran [online]. In: . leden 2019 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://construsoftbimawards.com/wp-content/uploads/2018/05/1526330405_Trimaran_Ground_05_v02.jpg
- [4] Dokončená železobetonová konstrukce zavěšená v osách K' a L' [online]. In: . [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: http://www.konstrukce.cz/PublicFiles/UserFiles/image/K/2017/k217/800x800_trimaran_25.jpg
- [5] Trimaran – komerční a kongresové centrum v Praze na Pankráci [online]. 2017 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/trimaran-komerčni-a-kongresove-centrum-v-praze-na-pankraci/>
- [6] Administrativní budova City Deco – Trimaran. In: IMateriály [online]. 21. 1. 2019 [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/zajimava-stavba/administrativni-budova-city-deco-trimaran_46522.html
- [7] Trimaran layout. In: TRIMARAN Praha [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://www.trimaran-praha.cz/images/layout/layout.png>
- [8] East Building [online]. In: . [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: https://recoc.cz/wp-content/uploads/2015/02/east-building-ref_25_634.jpg
- [9] East Building [online]. In: . [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: https://recoc.cz/wp-content/uploads/2015/02/east-building-ref_25_633.jpg
- [10] Brama Poznania ICHOT [online]. In: . [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: <https://www.werandaweekend.pl/data/articles/ichot.jpg>
- [11] MATOGA, Marcin. NAUKA I BUDOWNICTWO: BRAMA POZNANIA Część 1 [online]. 2017 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=2ahUK-Ewit646KupbiAhWQZ1AKHcfqBdoQFjADegQIBxAC&url=http%3A%2F%2Fyadda.icm.edu.pl%2Fyadda%2Felement%2Fbwmeta1.element.baztech-38129583-b032->

[428b-9138-e3f9f7365b07%2Fc%2FMatoga_M_Brama_3-2017.pdf&usg=AOvVaw1XZ9cmGZM0k_hJKp47u05o](https://docplayer.pl/70382302-Brama-poznania-wykazujac-jak-wazna-dla-wyzwania-konstrukcyjne-wynikajace-z-wizji-architektonicznej-czesc-2-nauka-i-budownictwo.html)

- [12] MATOGA, Marcin. NAUKA I BUDOWNICTWO: BRAMA POZNANIA Część 2 [online]. 2017 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://docplayer.pl/70382302-Brama-poznania-wykazujac-jak-wazna-dla-wyzwania-konstrukcyjne-wynikajace-z-wizji-architektonicznej-czesc-2-nauka-i-budownictwo.html>
- [13] Casa Cruzada (Crossed House) [online]. Clavel Arquitectos [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://archello.com/project/casa-cruzada-crossed-house>
- [14] Casa Cruzada [online]. In: . octubre 2015 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <http://davidfrutos.com/casa-cruzada/>
- [15] LADRA, Josef, František MUSIL, Václav POSPÍCHAL a Pavel SVOBODA. *Technologie staveb 11: Realizace železobetonové monolitické konstrukce budov*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-010-2487-3.
- [16] Návod k použití Seřiditelné výsuvné ocelové stojky ČSN (DIN) EN 1065 [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: http://www.paclik.cz/userfiles/file/kestazeni/navod_bednici_stojky_eap.pdf
- [17] PERI: Vysokopevnostní podpěry HD PERI UP Flex [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.peri.cz/produkty/vysokopevnostni-podpery-hd-periup-flex.html>
- [18] PERI [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.peri.cz/produkty/st100-podperna-vez.html>
- [19] DOKA: Samošplhací bednění Xclimb 60 [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.doka.com/cz/system-groups/doka-climbing-systems/automatic-climbing-formwork/xclimb60/index>
- [20] DOKA 1-2-4 [online]. In: . [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://zsaluberbeadas.hu/wp-content/uploads/wppa/698404.jpg?ver=1>
- [21] PERI: Rámové bednění TRIO [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.peri.cz/produkty/bedneni/ramove-bedneni-trio.html#&gid=1&pid=3>
- [22] IVANOV, Aleksandr. NEW TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTING CONCRETE STRUCTURES. Finland, 2015. Bachelor's thesis. HAMK Häme University of Applied Sciences.
- [23] ČSN EN 13670: *Provádění betonových konstrukcí*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2010.

- [24] DOČKAL, Karel. TECHNOLOGIE STAVEB I: TECHNOLOGIE PROVÁDĚNÍ BETONOVÝCH A ŽELEZOBETOVONOVÝCH KONSTRUKCÍ [online]. VUT Brno, 2005 [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BW01-Technologie%20staveb%20I/M04-Technologie%20provadeni%20betonovych%20a%20zelezobetonovych%20konstrukci.pdf>
- [25] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1.1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2006.
- [26] HANZLOVÁ, Hana a Jiří ŠMEJKAL. *Betonové a zděné konstrukce 1: základy navrhování betonových konstrukcí*. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05323-2.
- [27] In: EBETON [online]. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/vyvoj-pevnosti-betonu>
- [28] FOGLAR, Marek, Michaela FRANTOVÁ a Pavel JIŘÍČEK. *Betonové konstrukce 3: navrhování betonových konstrukcí na MSP, úvod do předpjatého betonu*. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04943-3.
- [29] Dotvarování betonu [online]. In: . [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/dotvarovani-betonu>
- [30] JÍLEK, Antonín a Václav NOVÁK. BETONOVÉ STAVITELSTVÍ I: Technický průvodce sv. 52. Praha: SNTL, 1986.

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

- Obr. 1.1: Příklad konstrukce velkého vyložení [2]
- Obr. 1.2: komerční a kongresové centrum Trimaran Praha 4, Pankrác [3]
- Obr. 3.1: Trimaran Pankrác [4]
- Obr. 3.2: Statické schéma uložení ocelového příhradového vazníku
- Obr. 3.3: Statické schéma vyložené konstrukce Trimaran Pankrác [7]
- Obr. 3.4: Výstavba budovy East Building [8]
- Obr. 3.5: Statické schéma konstrukce East Building [9]
- Obr. 3.6: Výstup normálových sil pro obálku MSÚ (červeně zobrazen tlak, modře tah)
- Obr. 3.7: Brama Poznania ICHOT [10]
- Obr. 3.8, 3.9: Skleněné lávky v průchodu budovy a výstavba Brama Poznania [11]
- [12]
- Obr. 3.10: BIM model objektu Brama Poznania [11]
- Obr. 3.11: Casa Cruzada [14]
- Obr. 4.1: Příklad stavební stojky výrobce EAP s popisem částí [16]
- Obr. 4.2: Vysokopevnostní podpěry HD PERI UP Flex [17]
- Obr. 4.3: Podpěrná věž PERI ST 100 [18]
- Obr. 4.4: Samošplhací bednění DOKA Xclimb 60 [19]
- Obr. 4.5: Rozdělení bednění podle možností jeho opětovného užití [15]
- Obr. 4.6.: Prvkové stěnové bednění DOKA 1-2-4 [20]
- Obr. 4.7.: Rámové bednění PERI TRIO [21]
- Obr. 4.8: Prvky tunelového bednění [15]
- Obr. 4.9: Vysouvání tunelového dílce ze záběru pomocí jeřábu [15]
- Obr. 4.10: Příklady provedení pracovní spáry pomocí plechu s drážkou [15]
- Obr. 4.11: Technologické přestávky pro odbedňování podle DIN 1045 [24]
- Obr. 5.1: Vývoj pevnosti betonu v závislosti na teplotě prostředí [27]
- Obr. 5.2: Vývoj pevnosti betonu v závislosti na vaznosti cementu [27]
- Obr. 5.3: Vývoj pevnosti betonu v závislosti na použitém cementu [27]
- Obr. 5.4: Deformace betonu při dlouhodobém zatěžování [29]
- Obr. 5.5: Součinitel dotvarování (RH 50%) pro beton uložený v běžném prostředí [25]
- Obr. 5.6: Součinitel dotvarování (RH 80%) pro beton uložený v běžném prostředí [25]
- Obr. 6.1: Model náhradní příhradoviny a tvar boční obvodové stěny
- Obr. 6.2: Tvar čelní obvodové stěny

Obr. 6.3: Změna tvaru okenního otvoru vlivem dotvarování konstrukce

Obr. 6.4: Model náhradní příhradoviny středové stěny

Obr. 6.5.: Řešená vyložená konstrukce vyložení 3D pohled

Obr. 6.6: Jednotlivé záběry výstavby vyložené konstrukce

Obr. 6.7: Dvojice navržené ocelové podpěrné konstrukce

Obr. 6.8: Schéma provedení desky v 1. záběru výstavby vyložené konstrukce

Obr. 6.9: Schéma 1. záběru výstavby vyložené konstrukce

Obr. 6.10: Schéma 2. záběru výstavby vyložené konstrukce

Obr. 6.11: Schéma 3. záběru výstavby vyložené konstrukce

Obr. 6.12: Schématický řez 3. záběru výstavby vyložené konstrukce

Obr. 6.13: Schéma osazení lan do konstrukce před 4. záběrem

Obr. 6.14: Schéma betonování spodní desky 4. záběru výstavby vyložené konstrukce

Obr. 6.15: Schéma 4. záběru výstavby vyložené konstrukce

Obr. 6.15: Schéma 5. záběru výstavby vyložené konstrukce

Obr. 6.16: Schéma 6. záběru výstavby vyložené konstrukce

Obr. 6.17: Schéma osazení lan do konstrukce před 7. záběrem

Obr. 6.18: Schéma betonování spodní desky 7. záběru výstavby vyložené konstrukce

Obr. 6.19: Schéma 7. záběru výstavby vyložené konstrukce

Obr. 6.20: Schéma 8. záběru výstavby vyložené konstrukce

Obr. 6.21: Schéma 9. záběru výstavby vyložené konstrukce

Obr. 6.22: Schéma závěrečné fáze výstavby vyložené konstrukce

Obr. 6.23: Celkový dlouhodobý průhyb zohledňující dotvarování a trhliny

Obr. 6.24 Celkový dlouhodobý průhyb zohledňující dotvarování a trhliny spodní stropní desky

SEZNAM POUŽITÉHO SOFTWARE

1. SCIA Engineer 18.1 (studentská licence)
2. Microsoft Word 2010
3. Microsoft Excel 2010
4. AutoCAD 2019 (studentská licence)

SEZNAM GRAFŮ

Graf. 1.: Vývoj modulu pružnosti betonu C40/50

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

| | |
|------------------------|---|
| <i>OK</i> | ...ocelová konstrukce |
| <i>UTB</i> | ...urychlování tvrdnutí betonu |
| <i>DEF</i> | ... delayed ettringite formation |
| f_{cm} | ...střední (průměrná) hodnota pevnosti v tlaku |
| E_{cm} | ...Youngův modul pružnosti ve 28 dnech stáří betonu |
| $\beta_{cc}(t)$ | ...součinitel, kterým se přepočte f_{cm} na $f_{cm}(t)$ |
| t | ...stáří betonu ve dnech |
| s | ...koeficient závislý na druhu cementu |
| $\varphi(\infty; t_0)$ | ...součinitel dotvarování betonu pro určité zatížení a interval času |
| h_0 | ...náhradní rozměr průřezu (2*průřezová plocha betonu/obvod vystavený vysychání) |

PŘÍLOHY

Příloha č. 1 – Zjednodušený harmonogram výstavby vyložené konstrukce

| Den číslo | Záběr číslo | Montáž podpěrné konstrukce | Ukládání výztuže do bednění | Betonáž podkladní desky | Odbednění předchozího záběru | Betonáž tunelového bednění | Betonáž atiky |
|-----------|-------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------------|---------------|
| 1 | 1 | ANO | ANO | ANO | x | x | x |
| 2 | | x | ANO | x | x | ANO | x |
| 3 | | x | x | x | x | x | x |
| 4 | 2 | x | ANO | x | ANO | ANO | x |
| 5 | | x | x | x | x | x | x |
| 6 | 3 | x | ANO | x | ANO | ANO | ANO |
| 7 | | x | x | x | x | x | x |
| 8 | 4 | ANO | ANO | ANO | x | x | x |
| 9 | | x | ANO | x | x | ANO | x |
| 10 | | x | x | x | x | x | x |
| 11 | 5 | x | ANO | x | ANO | ANO | x |
| 12 | | x | x | x | x | x | x |
| 13 | 6 | x | ANO | x | ANO | ANO | ANO |
| 14 | | x | x | x | x | x | x |
| 15 | 7 | ANO | ANO | ANO | x | x | x |
| 16 | | x | ANO | x | x | ANO | x |
| 17 | | x | x | x | x | x | x |
| 18 | 8 | x | ANO | x | ANO | ANO | x |
| 19 | | x | x | x | x | x | x |
| 20 | 9 | x | ANO | x | ANO | ANO | ANO |
| 21 | | x | x | x | x | x | x |
| 22 | KONEC | x | x | x | ANO | x | x |

Příloha č. 2 – Výstupy ze softwaru SCIA Engineer

Zatěžovací stavy

| Jméno | Popis | Typ působení | Skupina zatížení | Typ zatížení | Spec | Směr | Působení | Řídící zat. stav |
|---|--------------------|--------------|------------------|--------------|----------|------|------------|------------------|
| *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* | | | | | | | | |
| ZS1 | Vlastní tíha | Stálé | SZ1 | Vlastní tíha | | -Z | | |
| ZS2 | Ostatní stálé | Stálé | SZ1 | Standard | | | | |
| ZS3 | Užitné plné | Stálé | SZ1 | Standard | | | | |
| ZS4 | Užitné šachovnice1 | Proměnné | SZ2 | Statické | Standard | | Krátkodobé | Žádný |
| ZS5 | Užitné šachovnice2 | Proměnné | SZ2 | Statické | Standard | | Krátkodobé | Žádný |
| ZS6 | Sníh | Proměnné | SZ2 | Statické | Sníh | | | Žádný |
| ZS7 | Vítr | Proměnné | SZ2 | Statické | Sníh | | | Žádný |

Vlastní tíha (automaticky v programu)

Ostatní stálé – podlaha (3 kN/m²)

Ostatní stálé – střešní plášť (2 kN/m²)

Užitné – kancelářské prostory (4,5 kN/m²)

Užitné – zatížení údržbou střešního pláště (0,7 kN/m²)

Sníh – lokalita Praha (0,7 kN/m²)

Vítr (automaticky v programu)

Normově závislý průhyb

Lineární výpočet

Kombinace: MSP-Kvazi (auto)Extrem: Globální

Výběr: Vše

Poloha: V těžištích. Systém: LSS prvku sítě

Složky vnitřních sil rovnoběžné se žebrem se zohlední jako nulové uvnitř efektivní šířky žebra.

Systém: LSS prvku sítě

Výběr NZP: Vše

Na vybraných dílcích se vyskytuje 1 varování. 1 z nich je zobrazeno.

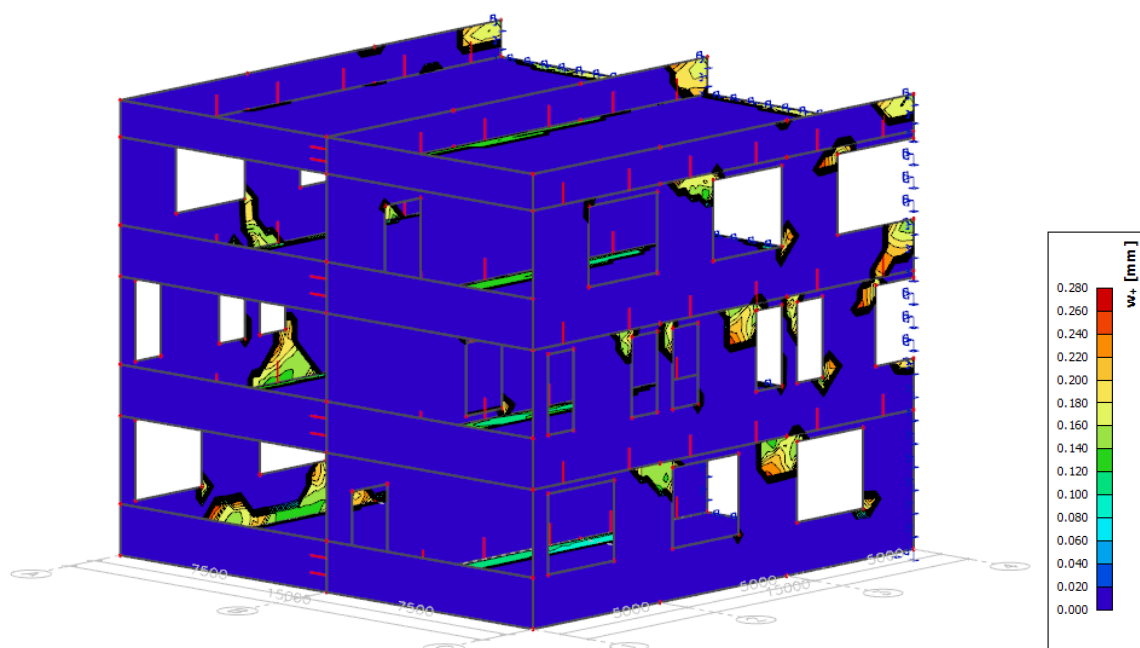
Pro 2D dílec

| Jméno | Síť | Stav Typ výztuže | $\varphi(t,t_0)$ [-] | $\delta_{lin,z}$ [mm] | $\delta_{imm,z}$ [mm] | $\delta_{short,z}$ [mm] | $\delta_{creep,z}$ [mm] | $\delta_{add,z}$ [mm] | $\delta_{add,lim,z}$ [mm] | $\delta_{tot,z}$ [mm] | $\delta_{tot,lim,z}$ [mm] | UC [-] Posudek |
|-------|-----------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------------|
| S336 | Prvek: 13274 | MSP-Kvazi (auto)/1 Nut. | 1,80 | -4,9 | -6,0 | -6,0 | -8,0 | -8,0 | 15,0 | -14,0 | 25,0 | 0,56 OK |
| S116 | Prvek: 21605 | MSP-Kvazi (auto)/1 Nut. | 1,80 | 0,9 | 1,0 | 1,0 | 1,6 | 1,6 | 15,0 | 2,6 | 25,0 | 0,10 OK |

| Jméno | Klíč kombinace |
|--------------------|-----------------|
| MSP-Kvazi (auto)/1 | ZS1 + ZS2 + ZS3 |

| CH/V/P | Přítomno na dílcích |
|--------|------------------------|
| W7/5 | S336, S347, S355, S365 |

Šířka trhlin horní povrch



Šířka trhlin spodní povrch

